

**PROPUESTA DE FLOTACIÓN PARA LA SEPARACIÓN DEL RESIDUO
PVC/POLIÉSTER EN CROYDON COLOMBIA S.A**

**MARTIN ALEXANDER GUTIÉRREZ GÓMEZ
LUZ ÁNGELA MARTÍNEZ RODRÍGUEZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

**PROPUESTA DE FLOTACIÓN PARA LA SEPARACIÓN DEL RESIDUO
PVC/POLIÉSTER EN CROYDON COLOMBIA S.A**

**MARTIN ALEXANDER GUTIÉRREZ GÓMEZ
LUZ ÁNGELA MARTÍNEZ RODRÍGUEZ**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
Hever Andrés Chaves Romero.
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

Nota de Aceptación

Ing. Edgar Fernando Moreno Torres
Jurado orientador

Felipe Correa
Jurado1

Jaime Arturo Calvache
Jurado 2

Bogotá D.C., Agosto de 2018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD AMÉRICA

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y recursos humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectoría académica y de posgrados

Ing. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano General de la Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

“La culminación de esta etapa en mi vida no solo es un logro mío, sino de toda mi familia especialmente de mis padres, A Dios le agradezco por siempre cuidarme y guiarme en mi camino.

A ti querida Madre te agradezco por tus consejos tan sabios los cuales me han llevado al lugar donde estoy, gracias por ser esa mamá incondicional y tan dedicada, gracias mamá por ser mi apoyo incondicional siempre y a ti Papá que aunque ya no estas, sé que eres mi ángel y mi guía y se que estarías muy orgulloso de mi carrera y de la persona que mi mamá educó y formo para ser lo que su ahora.

A mis hermanos Carito y Dieguito por estar siempre para mí y porque son mi ejemplo a seguir, porque siempre me han cuidado y guiado en el camino y me han comprendido y apoyado todo este tiempo.

A ti Alejandro por tu amor y por tu incondicionalidad a lo largo de mi carrera.

LUZ ÁNGELA MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

“Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de vivir y guiarme en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, María Gómez y Martín Gutiérrez, por ser pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Padres gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se lo debo a ustedes.

A todos mis amigos, Luz Ángela, Lina Castro, Fabio Gutiérrez, Antony, Uscategui, Andres, Camilo, Ivan, Carlos, Cesar, por compartir los buenos y malos momentos.

A todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto, ustedes saben quiénes son”.

MARTIN ALEXANDER GUTIÉRREZ GÓMEZ

AGRADECIMIENTOS

A CROYDON COLOMBIA S.A., por brindarnos la oportunidad de desarrollar este proyecto de grado y por confiar en nuestras capacidades.

Al ingeniero Hever Andrés Chaves Romero, por acompañarnos en este proyecto, por creer en nosotros desde el primer día, por sus consejos, conocimientos transmitidos y por su acogedor trato.

Al ingeniero Fernando Moreno, nuestro asesor; por su paciencia, apoyo, conocimiento, dedicación, comprensión y su gran trato.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos el apoyo y equipos para la realización de este proyecto.

A la ingeniera y docente Nubia Becerra, por su conocimiento y apoyo a lo largo de esta carrera.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	23
1. MARCO TEÓRICO	24
1.1 PRINCIPIOS DE LA FLOTACIÓN	24
1.2 ELEMENTOS DE LA FLOTACIÓN	25
1.2.1 Fase sólida:	25
1.2.2 Fase líquida	25
1.2.3 Fase gaseosa	25
1.3 PROCESO DE FLOTACIÓN POR ESPUMAS	25
1.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA FLOTACIÓN	26
1.4.1 Pulpa	26
1.4.2 Aire	27
1.5 REACTIVOS	27
1.5.1 Colector	27
1.5.2 Activador	27
1.5.3 Depresor	27
1.5.4 Regulador de pH	27
1.5.5 Espumantes	28
1.6 ÁNGULO DE CONTACTO	28
1.7 PROCESO DE RECICLAJE O RECUPERACIÓN DE PVC	29
1.8 DISEÑO DE PROCESOS	30
2. ESPECIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES	32
2.1 MATERIAS PRIMAS	32
2.1.1 Scrap	32
2.1.2 Selección y tamizado del scrap	33
2.2 REACTIVOS	33
2.2.1 Hidróxido de sodio	33
2.2.2 Nonil fenol 10 moles	34
2.2.3 Tensafor MV-P	35
2.3 ESPUMANTE	35
2.3.1. Aceite de pino	35
2.4 SELECCIÓN REACTIVO DE FLOTACIÓN	35
3. MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1 METODOLOGÍA PARA EL PROCESO DE FLOTACION	37
3.1.1 Diseño de experimentos.	37
3.2. ETAPAS PARA LA RECUPERACIÓN PVC POR FLOTACIÓN	39
3.2.1 Caracterización	42
3.3 DESARROLLO EXPERIMENTAL	43
3.3.1 Selección de los parámetros	43

3.4 PUESTA EN MARCHA DE LA FLOTACIÓN	48
3.5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	55
3.6 DETERMINACIÓN PORCENTAJE PVC Y POLIÉSTER ALIMENTADOS	56
3.6.1 Balance de recuperación de PVC para Nonil fenol 10 moles	57
3.6.2 Balance de recuperación de PVC para Tensafor MV-P	59
3.7 CONCEPTO DE INTERACCIÓN (TENSAFOR MV-P)	61
3.7.1 Planteamiento de la hipótesis (Tensafor MV-P)	63
3.7.2 Consolidación de datos Tensafor MV-P	64
3.7.3 Análisis de varianza Tensafor MV-P	64
3.8 CONCEPTO DE INTERACCIÓN (NONIL FENOL 10 MOLES)	67
3.8.1 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS (NONIL FENOL 10 MOLES)	68
3.8.2 Consolidación de datos Nonil fenol 10 moles	69
3.8.3 Análisis de varianza Nonil fenol 10 moles	69
3.9 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	72
4. PROCESO DE FLOTACIÓN A ESCALA PILOTO.	76
4.1 CONDICIONES GENERALES DEL PROCESO.	76
4.2 PROPUESTA PARA LA REINCORPORACIÓN DEL RESIDUO DE PVC	76
4.3 PROCESO DE REINCORPORACION DE PVC RECUPERADO	77
4.4 CONDICIONES DEL PROCESO	80
4.4.1 Cantidad de Scrap alimentado	81
4.4.2 Capacidad de producción nominal	81
4.4.3 Picadora	81
4.4.4 Tamiz	81
4.4.5 Balance de energía para el Tamiz	82
4.4.6 Tanque de agitación	82
4.4.7 Balance de energía para el tanque de agitación	83
4.4.8 Celda de flotación	84
4.4.9 Balance de energía para el Tamiz	85
4.4.10 Equipo de tambor y agujeros	85
4.5 SELECCIÓN DE EQUIPOS	87
4.5.1 Tamizador Zenit	87
4.5.2 Tanque de agitación	87
4.5.3 Celda de flotación BF-10	88
4.5.4 Equipo de tambor y agujeros	89
4.5.5 Horno de secado	90
4.6 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.	91
4.6.1 Cuarto de recuperación de materiales	94
5. EVALUACIÓN FINANCIERA	96
5.1 COSTOS DE LA INVERSIÓN ASIGNADA EN LA PROPUESTA	96
5.2 ANÁLISIS COSTOS DE OPERACIÓN	97
5.3 COSTOS DEL PROCESO ACTUAL DE RECUPERACION DE PVC	97

5.4 COSTOS SIN PROYECTO	98
5.4.1 Costos con proyecto	100
5.5 FLUJO DE CAJA	100
5.5.1 Flujo de efectivo	101
6. CONCLUSIONES	103
7. RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	107

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Producción de bota PVC para el 2018	32
Tabla 2. Pruebas según diseño de experimentos	39
Tabla 3. Parámetros	44
Tabla 4. Análisis granulométrico	45
Tabla 5. Caracterización mallas	46
Tabla 6. Variables diseño de experimentos	55
Tabla 7. Conversiones	56
Tabla 8. Porcentaje media Poliéster y PVC	56
Tabla 9. Porcentaje de recuperación de PVC con Nonil Fenol 10 moles	59
Tabla 10. Porcentaje de recuperación PVC con Tensor MV-P	61
Tabla 11. Datos de interacción	61
Tabla 12. Variables	62
Tabla 13. Factores	63
Tabla 14. Consolidación de datos	64
Tabla 15. Análisis de varianza	64
Tabla 16. Datos de interacción	67
Tabla 17. Caracterización de variables	67
Tabla 18. Factores	68
Tabla 19. Consolidación de datos	69
Tabla 20. Análisis de varianza	70
Tabla 21. Comparación resultados Dp fino y grueso por reactivo	73
Tabla 22. Comparación % recuperación PVC Según su reactivo	73
Tabla 23. % recuperación según concentración de Tensafor MV-P	74
Tabla 24. Condiciones diagrama PFD	80
Tabla 25. Conversiones Diagrama PFD	80
Tabla 26. Análisis granulométrico.	81
Tabla 27. Alimentación del tanque	83
Tabla 28. Alimentación celda de flotación	84
Tabla 29. Porcentaje peso mojado en el PVC recuperado.	86
Tabla 30. Especificaciones plano 2	95
Tabla 31. Equipos y reactivos necesarios para la propuesta	97
Tabla 32. Inversión asignada al proceso de recuperación de PVC	97
Tabla 33. Costos variables por recuperación de Sacras	98
Tabla 34. Scrap generado y recuperado	99
Tabla 35. Scrap recuperado y costo de procesamiento	100
Tabla 36. Costos de recuperación de Scrap con proyecto	100
Tabla 37. Proyección del costo por par de botas	101
Tabla 38. Flujo de caja	102
Tabla 39. Prueba 1	108
Tabla 40. Prueba 2	109
Tabla 41. Prueba 3	109

Tabla 42. Análisis de varianza Nonil Fenol 10 moles	110
Tabla 43. Análisis de varianza Tensor MV-P	110
Tabla 44. Resultados prueba 1	111
Tabla 45. Resultados prueba 2	112
Tabla 46. Tabla de resultados prueba 3	112
Tabla 47. Resultados prueba 4	113
Tabla 48. Resultados prueba 5	114
Tabla 49. Resultados prueba 6	114
Tabla 50. Resultados prueba 7	115
Tabla 51. Resultados prueba 8	115
Tabla 52. Resultados prueba 9	116
Tabla 53. Resultados prueba 10	117
Tabla 54. Resultados prueba 11	117
Tabla 55. Resultados prueba 12	118
Tabla 56. Resultados pruebas 13	118
Tabla 57. Resultados prueba 14	119
Tabla 58. Resultados prueba 15	119
Tabla 59. Resultados prueba 16	120

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Almacenamiento scrap	33
Imagen 2. Hidróxido de Sodio	34
Imagen 3. Nonil Fenol 10 moles	34
Imagen 4. Agitación de la pulpa	47
Imagen 5. Celda de flotacion Edemet	48
Imagen 6. Triturador	49
Imagen 7. Tamiz	50
Imagen 8. Calentamiento de la pulpa	53
Imagen 9. Pulpa + NaOH	54
Imagen 10. Proceso de flotación	55
Imagen 11. Resultado recuperación PVC	75

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Ángulo de contacto para el PVC y el PET	42
Gráfica 2. Valores del ángulo de contacto con respecto al pH de la solución	43
Gráfica 3. Distribución granulométrica.	45
Gráfica 4. Dispersión RPM con respecto al tiempo.	47
Gráfica 5. Interacción % recuperación Vs tamaño de partícula.	62
Gráfica 6. Interacción % recuperación PVC vs Concentración reactivo	63
Gráfica 7. Finos Vs Gruesos	66
Gráfica 8. Efecto de la concentración	66
Gráfica 9. Interacción % recuperación Vs tamaño de partícula	67
Gráfica 10. Interacción % recuperación PVC vs concentración reactivo	68
Gráfica 11. Finos Vs Gruesos	71
Gráfica 12. Efecto de la concentración	72
Gráfica 13. Concentración según su % de recuperación de PVC	74
Gráfica 14. Distribución granulométrica prueba 1	108
Gráfica 15. Distribución granulométrica prueba 2	109

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Flotación	26
Figura 2. Ángulo entre la superficie del sólido y la burbuja de gas	28
Figura 3. Reciclaje Vinylpop	30
Figura 4. Balance de materia global prueba 1	111
Figura 5. Balance global prueba 2	111
Figura 6. Balance de materia global prueba 3	112
Figura 7. Balance de materia global prueba 4	113
Figura 8. Balance de materia global prueba 5	113
Figura 9. Balance de materia global prueba 6	114
Figura 10. Balance de materia global prueba 7	114
Figura 11. Balance de materia global prueba 8	115
Figura 12. Balance de materia global prueba 9	116
Figura 13. Balance de materia global prueba 10	116
Figura 14. Balance de materia global prueba 11	117
Figura 15. Balance de materia global prueba 12	117
Figura 16. Balance de materia global prueba 13	118
Figura 17. Balance de materia global prueba 14	118
Figura 18. Balance de materia global prueba 15	119
Figura 19. Balance de materia global prueba 16	120

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Diseño factorial 2^2	38
Ecuación 2. Balance global de materia del proceso	57
Ecuación 3. Porcentaje de recuperación de PVC	57
Ecuación 4. Porcentaje de material perdido en el proceso	58
Ecuación 5. Fracción poliéster removida	58
Ecuación 6. Material perdido en el proceso	58
Ecuación 7. Balance de material global del proceso	60
Ecuación 8. Porcentaje de recuperación de PVC	60
Ecuación 9. Porcentaje de material perdido en el proceso	60
Ecuación 10. Fracción poliéster removida	60
Ecuación 11. Material perdido en el proceso	60
Ecuación 12. Factor teórico	65
Ecuación 13. Factor teórico	70
Ecuación 14. Balance de energía tamiz.	82
Ecuación 15. Primera ley de la termodinámica para sistema cerrado	84
Ecuación 16. Energía interna de sólidos y líquidos	84
Ecuación 17. Trabajo de tanque de agitación	84
Ecuación 18. Despeje ecuación 5	84
Ecuación 19. Costos totales de procesamiento de sacras	98
Ecuación 20. Porcentaje de Scrap recuperado	99
Ecuación 21. Costo de procesamiento de Scrap del año 2018	99

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Reactivos de flotación	36
Cuadro 2. Tamizador Zenit	87
Cuadro 3. Tanque de agitación	88
Cuadro 4. Celda de flotación BF-10	89
Cuadro 5. Equipo de tambor y agujeros	90
Cuadro 6. Horno de secado	91

LISTA DE PLANOS

	pág.
Plano 1. Planta de PVC	93
Plano 2. Cuarto de recuperacion de materiales	94

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Análisis de Tamices	108
Anexo B. Análisis de varianza ANOVA	110
Anexo C. Balances de materia	111

GLOSARIO

HIDROFOBICO: sustancia que repele el agua; es decir es inmisible con sustancias polares.

HIDROFILICO: sustancia que tiene afinidad con el agua o con alguna sustancia polar.

MEZCLA DE PVC RECUPERADO: mezcla más conocidas en la empresa como Z-180 que contiene un porcentaje material recuperado proveniente de un proceso de homogenización, laminación y disminución de partícula con mezcla original.

PELLET: es el producto de llevar al proceso de extrusión el compuesto de PVC formado en el mezclador y enfriador. Dicho producto presenta formas circulares o cilíndricas, de longitudes de aproximadamente 4mm.

PULPA: alimentación de la celda de flotación, la cual es scrap ya tratado con hidróxido de sodio

pH: es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas disoluciones

SCRAP: es el conjunto de bota de PVC no conforme, es decir, el producto defectuoso que se obtiene del proceso de inyección.

TENSOACTIVO: es el reactivo de flotación el cual va a reducir la tensión superficial entre la lámina PVC/poliéster y el agua.

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es el desarrollo de una propuesta de flotación para la separación del residuo PVC/poliéster en CROYDON Colombia S.A. teniendo en cuenta que actualmente este residuo no es aprovechado al 100%. Esta propuesta busca lograr un aprovechamiento de este residuo por medio de la flotación, para así mejorar el proceso de aprovechamiento de la compañía y poder recircular más cantidad de PVC recuperado a la inyectora.

Para el desarrollo de esta propuesta, se seleccionó el solvente de flotación adecuado para la separación del residuo PVC/poliéster, para esto se realizaron una serie de etapas para definir características específicas del residuo y de los reactivos para realizar el proceso de flotación.

Una vez definidas estas etapas y parámetros, se realizó la experimentación con ambos reactivos de flotación, los cuales fueron Nonil fenol 10 moles y Tensafor MV-P, realizando 16 ensayos en total. Estos se hicieron variando la concentración de los reactivos y el tamaño de partícula del residuo.

Después de obtenidos los resultados, se identificó que la variable independiente (Porcentaje de recuperación), se veía afectada al modificar las variables independientes (tamaño de partícula y concentración del reactivo), para encontrar la variable de respuesta para el diseño de experimentos, en el diseño experimental se obtuvo el reactivo más adecuado con un porcentaje de PVC recuperado del 99%. Finalmente se hizo un diseño conceptual de la implementación del proceso de flotación para posterior a ello evaluar los costos de producción asociados al proceso de flotación.

Palabras clave: Aprovechamiento, Flotación, Residuo PVC, reincorporación.

INTRODUCCIÓN

Actualmente Croydon Colombia S.A., es uno de los mayores productores de bota de PVC en Colombia. Dentro de sus líneas de producción, se destacan los estilos Workman Amarilla, Macha (Bota negra) y Food Industry (Bota blanca). En los últimos tres meses en promedio se produjeron 81.563 pares de bota negra, 24.849 pares de bota amarilla y 24.165 pares de bota blanca, de las cuales se registra un promedio de producto no conforme (scrap) de 6.792 unidades para la bota negra, 2.167 unidades de bota amarilla y 2.720 unidades en bota blanca, para un total de 11.679 unidades de bota no conforme representando un 4,47% de la producción total. Este residuo actualmente no es aprovechado al 100% ya que no existe en la compañía una metodología viable, eficiente y aprobada para retornarlo al proceso de fabricación. El proceso de reciclaje se basa en llevar el scrap a un molino de Vion, el cual homogeniza y lamina el material para luego triturarlo y convertirlo en alimento de la inyectora para la fabricación de bota negra.

Este reproceso conlleva algunas consecuencias para el proceso de producción de la bota debido a que el material reciclado no es PVC puro. Este material que se encuentra mezclado con media de poliéster, genera dificultades durante el proceso de inyección, debido a que las motas producidas por la media de poliéster a largo plazo pueden taponar la inyectora.

Por esta razón surge la necesidad de buscar alternativas para separar el residuo PVC/poliéster generado por la inyectora. Una de ellas es el método de flotación o hinchamiento, en el cual por medio de un agente humectante el PVC se separaría. Este proyecto se desarrolló de manera experimental en el cual se planteó una propuesta de aprovechamiento del residuo PVC/poliéster, por medio de una celda de flotación para así poder obtener este residuo más puro y sin tantas trazas de media de poliéster.

En el documento se encontrará toda la información para llevar a cabo este proceso, con las concentraciones adecuadas de reactivo y las demás materias primas requeridas para llevar a cabo este proceso, también se podrá ver el diseño conceptual de esta propuesta y finalmente se evaluará la viabilidad que comprende el proceso de flotación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de flotación para la separación del residuo PVC/poliéster en CROYDON Colombia S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.** Seleccionar el solvente de flotación adecuado para la separación del residuo PVC/poliéster a nivel laboratorio.
- 2.** Evaluar las condiciones del solvente de flotación a nivel laboratorio.
- 3.** Realizar el diseño conceptual que comprende el proceso de flotación a escala piloto.
- 4.** Evaluar los costos de producción asociados al proceso de flotación.

1. MARCO TEÓRICO

La flotación a nivel industrial hoy en día es uno de los métodos más valiosos e importantes para la concentración mecánica, este proceso fue patentado en el año de 1906 y ha permitido la explotación de yacimientos complejos y de bajo contenido, las cuales habrían sido abandonadas si este proceso de flotación de se hubiera patentado.

El primer proceso de flotación conocido fue el de “flotación por aceite”¹ el cual se convirtió en el pilar en la flotación para minerales, el cual ha proporcionado información valiosa para el proceso actual de flotación denominado flotación por espuma. El desarrollo y adopción de la flotación por espuma le ha permitido a la minería y a todos los procesos llevados en la industria generar grandes cantidades de metales valiosos, convirtiéndose en un proceso muy valioso para recuperar y mejorar el valor de los minerales.

En su forma más simple, la flotación es un proceso de gravedad modificado en el que el mineral metálico finamente triturado (tamaño de partícula fino) se mezcla con un líquido, el metal o compuesto metálico suele flotar, mientras que la ganga se va al fondo. En algunos casos ocurre lo contrario. En la mayoría de los procesos modernos se emplean aceites u otros agentes tensoactivos para ayudar a flotar el metal o la ganga permitiendo que floten en el agua sustancias de cierto peso.²

1.1 PRINCIPIOS DE LA FLOTACIÓN

La flotación por espuma según el artículo “fundamentos de la flotación”³. Es un proceso físico-químico de la concentración de minerales finamente molidos, este proceso comprende el tratamiento químico de una pulpa de mineral con el fin de crear condiciones favorables para la adhesión de ciertas partículas de minerales a las burbujas de aire que tienen como objetivo la separación de dos minerales o compuestos diferentes divididas en dos pulpas acuosas. Aprovechando propiedades hidrofílicas de un mineral y propiedades de repulsión o hidrofóbicas del otro mineral.⁴

El carácter hidrofílico hace que las partículas del mineral se mojen y permanezcan en suspensión con la pulpa para finalmente hundirse en el proceso de flotación, mientras que el carácter hidrofóbico evita el mojado de las partículas del compuesto

¹ Historia De La Flotación. [EN LÍNEA]. Danafloat. Disponible en internet: <<http://www.danafloat.com/es/History.htm>>

² HUAPAYA, Alejandro. Manual De Flotación. Junio, 2010. Vol. 1.0. p.1-2

³ BRAVO, Antonio. Planta Concentradora. En: Empresa Minera Los Quenuales S.a. 2004 p 2

⁴ Ibid.p 2.

o mineral que pueden adherirse a las burbujas y quedar en la superficie del agua.⁵ En este caso en particular, este proyecto al buscar la separación de los polímeros PVC y poliéster, el compuesto hidrófobo será el poliéster y el hidrofílico el PVC.

1.2 ELEMENTOS DE LA FLOTACIÓN

1.2.1 Fase sólida. Se representa por los sólidos que se van a separar (polímeros o minerales) que tiene generalmente una estructura totalmente cristalina que tienen forma definida. Los factores más importantes para analizar la fase sólida en el proceso de flotación son los siguientes.

- Carácter de la superficie aireada en la ruptura del sólido (tipo de superficie y fuerzas residuales de los enlaces).
- Imperfecciones de la red cristalina.
- Contaminantes provenientes de los sólidos, líquidos y gases.⁶

1.2.2 Fase líquida. Es el agua que se utiliza en este proceso debido a su abundancia y bajo precio, que constituye un componente ideal debido a sus propiedades específicas. Aunque debido a las impurezas que presenta el agua, la dureza de esta puede variar debido a la presencia de diferentes sales como el magnesio y el sodio que pueden afectar la flotabilidad de ciertos compuestos.

1.2.3 Fase gaseosa. Es el aire que se inyecta en la pulpa mecánicamente con el fin de formar burbujas para que las partículas hidrófobas se peguen a ellas y se dirijan hacia la superficie.

La función del aire en este proceso de flotación tiene diferentes aspectos importantes tales como:

- El aire influye químicamente en el proceso de flotación.
- Es el medio de transporte de las partículas de mineral hasta la superficie de la pulpa.⁷

El aire es una mezcla de nitrógeno (78.10%) y oxígeno (20.96%) con pequeñas cantidades de dióxido de carbono (0.04%) y gases inertes como argón y otros.⁸

1.3 PROCESO DE FLOTACIÓN POR ESPUMAS

Los minerales hidrofílicos e hidrofóbicos de una pulpa acuosa se pueden separar entre sí, después de ser molidos en tamaños de partícula muy finos y acondicionados con los reactivos químicos que mejoran las propiedades antes nombradas. El principio de funcionamiento de un equipo de flotación se puede

⁵ Ibid. p.1-2.

⁶ BRAVO, Antonio. Planta Concentradora. En: Empresa Minera Los Quenuales S.a. 2004. p.5

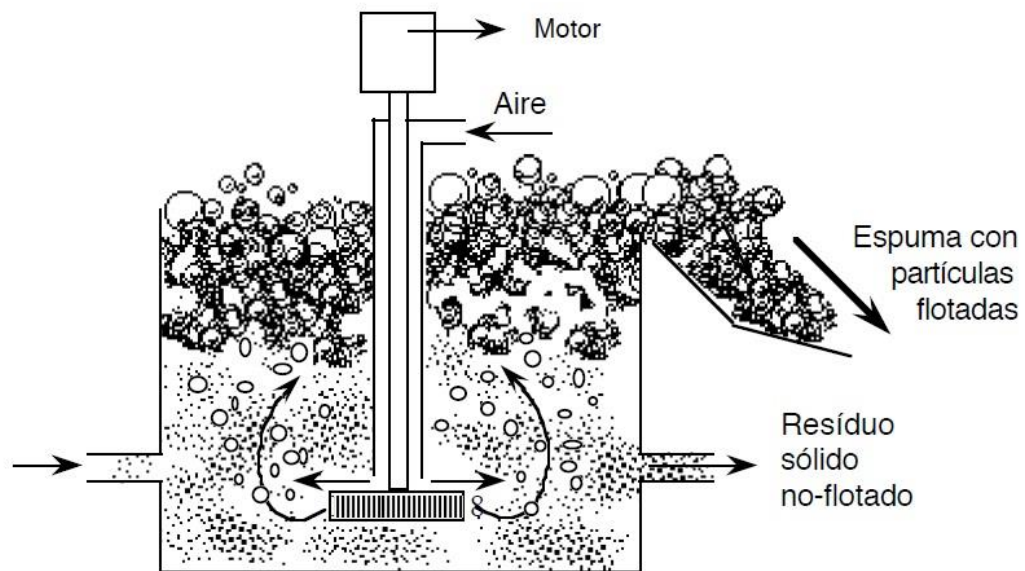
⁷ Ibid.,p.6.

⁸ Ibid.,p.6.

observar en la **Figura 1**, este esencialmente consta de varios mecanismos de inyección de aire y de mantenimiento es suspensión de las partículas.

El tiempo de flotación es el tiempo promedio de retención de las partículas en la celda, es decir, es el tiempo suficiente para que las partículas hidrófobas se adhieran a las burbujas de aire y floten hacia la superficie del agua ⁹. En este caso en particular el tiempo de flotación para que el poliéster se adhiera a las partículas de aire es de 9 minutos.¹⁰

Figura 1. Flotación



Fuente: HUAPAYA, Alejandro. Manual De Flotación. Junio, 2010. Vol. 1.0

1.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA FLOTACIÓN

En toda operación de flotación se tienen en cuenta cuatro factores que son muy importantes para el correcto desarrollo de este proceso

1.4.1 Pulpa. Es una mezcla de mineral molido con el agua, y como tal constituye el elemento básico de flotación debido a que contiene todos los elementos que forman el mineral. Se deben tener en cuenta para este proyecto que el tamaño de partícula de esta pulpa no debe ser superior a la malla 14 (1mm) y menor que la malla 4 con el fin de que la flotación no se vea afectada ya que, si se tiene un tamaño de

⁹ HUAPAYA, Alejandro. Manual De Flotación. Junio, 2010. Vol. 1.0. p.2

¹⁰VASQUEZ, Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De Pvc Y Pet A Partir De Residuos Plásticos. [EN LINEA]. 2012. [Citado en 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <HTTP://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066>

partícula muy grande, la pulpa quedara en el fondo del recipiente de flotación, y si por el contrario el tamaño de partícula es muy pequeño, se pierde capacidad de recuperación del material deseado.

1.4.2 Aire. Es un factor muy importante que va de la mano con la fase gaseosa del proceso. Ya que sirve para la formación de burbujas que se necesitan en las celdas de flotación, gracias a esta aireación creada mecánicamente por una bomba, se favorece la creación de espumas que hace subir o flotar los elementos valiosos hacia la superficie del agua.

Se debe tener bastante cuidado al momento de activar el aire debido a que si hay exceso de aire la espuma se revienta y se rebosa por la superficie de la celda desperdiciando material valioso, mientras que si se utiliza poco aire la columna de espumas es muy baja y no se podría recuperar el material valioso.

1.5 REACTIVOS

Los reactivos de flotación son usados con el fin de acondicionar las partículas del material ya triturado, debido a que estos cambian las propiedades superficiales de las partículas y están divididos en

1.5.1 Colector. Los principales reactivos utilizados en la flotación por espuma se absorben selectivamente sobre la superficie de las partículas, haciendo que estas se vuelvan hidrófobas (aerófilas). Los colectores utilizados con mayor frecuencia son los xantatos, los cuales permiten que las partículas aerófilas se peguen a las burbujas y suban a la superficie.¹¹

Una excesiva cantidad de colector en el proceso permitiría que hasta los materiales no deseados floten y por el contrario si se usa poca cantidad de colector se deprime el material deseado.

1.5.2 Activador. Compuesto inorgánico que modifica selectivamente la superficie de las partículas para permitir que el colector se absorba sobre éstas. Ejemplo: sulfato de cobre, que se utiliza en la activación de algunos sulfuros.¹²

1.5.3 Depresor. Generalmente es un compuesto inorgánico que modifica la superficie de las partículas volviéndolas hidrófilas o inhibe la absorción del colector. Ejemplo: sulfato de zinc, usado en la depresión de esfalerita.

1.5.4 Regulador de pH. El pH indica el grado de acidez o de alcalinidad de la pulpa. El pH 7 es neutro (ni alcalino ni ácido) y corresponde al agua pura. De 0 a 6 es ácido y de 8 a 14 es alcalino. El pH se mide con un aparato llamado potenciómetro o con un papel tornasol. Cada sulfuro tiene su propio pH de flotación, donde puede flotar

¹¹ HUAPAYA, Alejandro. Manual De Flotación. Junio, 2010. Vol. 1.0. p.3

¹² Ibid.p 4.

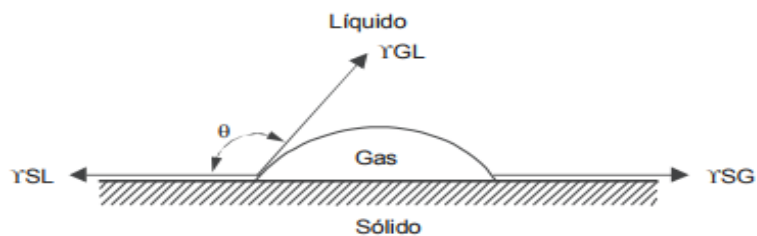
mejor. Esta propiedad varía según el mineral y su procedencia. Los reguladores de pH tienen la misión de dar a cada pulpa el pH más adecuado para una flotación óptima. La cal es un reactivo apropiado para regular el pH, pues deprime las gangas y precipita las sales disueltas en el agua. La cal se puede alimentar a la entrada del molino a bolas. Es importante usar dosificadores automáticos para estar seguros de la cantidad de reactivo dosificado a las pulpas ¹³

1.5.5 Espumantes. Los espumantes son reactivos tenso activos, que modifican la tensión superficial del agua y que producen una espuma estable. Ejemplo: Aceite de pino. Una espuma consiste de un gas disperso en un líquido en una relación tal que la densidad aparente de la mezcla se aproxima más a la densidad del gas que a la del líquido. Al hacer pasar el aire a través de agua pura, no se produce espuma. Al agregar pequeñas cantidades de ciertos compuestos orgánicos como por ejemplo aceites, al soplar aire a través del líquido se formaran burbujas de aire en forma de pequeñas esferas que, al subir hasta la superficie del líquido y antes de entregar su contenido de aire a la atmósfera, tratarán de detenerse en forma de espuma.¹⁴

1.6 ÁNGULO DE CONTACTO

Para que la flotación sea eficiente y la adherencia de partículas sólidas a las burbujas sea factible, es necesario que la adherencia de las partículas sólidas a las burbujas de gas sea mayor que la tendencia a establecer un contacto entre las partículas y el líquido. Este contacto entre un sólido y un líquido se determina mediante la medida del ángulo de contacto (**Figura 2**)

Figura 2. Ángulo entre la superficie del sólido y la burbuja de gas



Fuente: Vargas Lidia. Flotación. Capítulo 8. P 66

Si $\theta=0$, el contacto sólido-líquido se realiza de forma perfecta, es decir, es imposible la adherencia sólido gas.

¹³ HUAPAYA, Alejandro. Manual De Flotación. Junio, 2010. Vol. 1.0. p.4

¹⁴ Ibid. p.5

Si $\theta=180^\circ$, el contacto sólido-líquido es nulo, es decir, el contacto sólido gas es óptimo, pero se trata de un caso límite que nunca se da en la práctica puesto que ningún líquido da un ángulo mayor a 110° ¹⁵.

Entre los valores de 0 y 180° , la adherencia sólido-gas aumenta con el valor del ángulo θ , “este ángulo se puede aumentar mediante el uso de sustancias tenso activas que forman una película hidrófoba alrededor de las partículas. Tales sustancias poseen en sus moléculas una parte no polar (hidrófoba) que es atraída por las burbujas de aire en la superficie y otra polar (hidrófila), que es atraída por la fase dispersa.”¹⁶

Teniendo en cuenta lo anterior, los mecanismos de contacto entre las burbujas de aire y las partículas pueden resultar de las siguientes acciones:

1. Colisión entre la burbuja (esfera) y la partícula, debido a la turbulencia (agitación) o atracción entre ambas.
2. Aprisionamiento de las burbujas contra los flóculos
3. Crecimiento de las burbujas de aire entre los flóculos, cuando se tienen partículas hidrofílicas, los mecanismos 1 y 2 parecen ser responsables de la eficiencia de la flotación, pero para el mecanismo 1 parece predominar e la obtención de un contacto más estable entre las burbujas y las partículas, las cuales requieren un cierto grado de hidrofobia.¹⁷

1.7 PROCESO DE RECICLAJE O RECUPERACIÓN DE PVC

La tecnología del reciclaje mecánico (Vinyloop)¹⁸ del PVC se basa en el uso de disolventes para el tratamiento de los residuos de PVC usando la disolución, filtración y flotación para recuperar la mayor parte de PVC que contiene aditivos costosos y originales. Ver **Figura 3**.

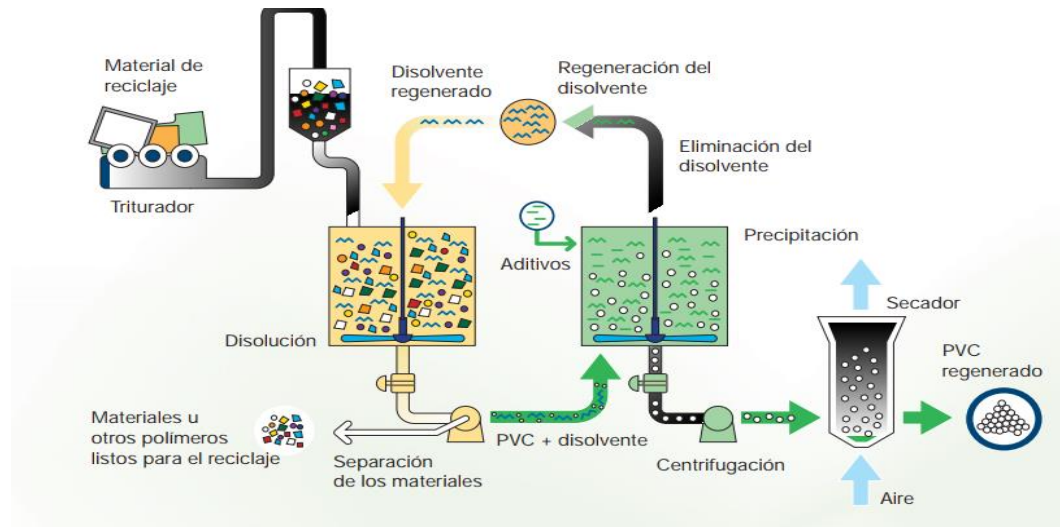
¹⁵ Vargas Lidia. Flotación. capítulo 8. P 65.

¹⁶ Ibid, P 66.

¹⁷ Ibid, P 67.

¹⁸PVC foro ibérico [en línea]<http://www.cepex.com/wp-content/uploads/dossier_informativo_pvc_reciclaje.pdf> [citado el 20 de octubre de 2017]

Figura 3. Reciclaje Vinylpop



Fuente: Dossier informativo de foro Ibérico sobre el PVC.

1.8 DISEÑO DE PROCESOS

El diseño de procesos busca satisfacer una función y especificar las condiciones de rendimiento en general, este se divide en tres etapas:

- Seleccionar el conjunto apropiado de operaciones unitarias y sus interconexiones.
- Seleccionar la clase de equipos adecuados para llevar a cabo las operaciones unitarias.
- Escoger las dimensiones y condiciones de operación de los equipos.

Para desarrollar una síntesis de procesos razonable, la “Descomposición Jerárquica de Douglas” es el método ideal ya que permite la subdivisión de un problema en varios sencillos para luego ensamblarlos. También permite una “búsqueda algorítmica”, que busca reunir las mejores alternativas con ayuda de métodos de investigación de operaciones. Y por último la “Heurística” la cual permite obtener configuraciones según experiencias exitosas del pasado, que en algunas ocasiones evitan examinar todas las posibles secuencias.¹⁹

El método de Douglas propone cinco niveles:

- Nivel 1. Discontinuo vs continuo. Se opta por un proceso discontinuo cuando: El producto a obtener solo se requiere operar unos cuantos días en la planta por año, hay poca información para el diseño y el proceso es bastante sensible a

¹⁹SAMUEL, Kazes Gómez. y JAVIER, De La Cruz. Application Of Heuristic Rules In The Process Synthesis. En: 2008. Noviembre, 2008. p.155-166.

variaciones, el producto es de vida corta y el valor del producto es considerablemente mayor al costo de manufactura.

- Nivel 2. Estructura de entradas y salidas. Se consideran el número de corrientes, materias primas y productos, subproductos, etc.
- Nivel 3. Estructura de recirculados. La recuperación y /o eliminación de componentes lleva a considerar la existencia de recirculación o purga.
- Nivel 4. Especificación del sistema de separación. Generalmente las materias primas se recirculan al equipo en operación, los productos se recuperan y los subproductos se eliminan o recuperan en función de su cantidad e importancia. La selección de equipamiento implica la realización de evaluaciones económicas y de un buen conocimiento de la heurística del proceso.²⁰
- Nivel 5. Red de intercambio calórico. Esta se realiza para optimizar el número de intercambiadores de calor y de servicios (fuentes de frío y de calor).

²⁰ SAMUEL, Kazes Gómez. y JAVIER, De La Cruz. Application Of Heuristic Rules In The Process Synthesis. En: 2008. Noviembre, 2008. p.155-166.

2. ESPECIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES

Para la selección de la materia prima se escogió la bota de mayor producción en Croydon Colombia S.A., para escoger esta bota se hizo un promedio de la producción de botas de los últimos 3 meses como se muestra en el **Tabla 1**, en este caso la que más se destacó fue la bota negra que es la referencia (Macha), con una producción de 81.563 pares de botas en los últimos tres meses. Para los materiales se utilizaron dos solventes de flotación, Nonil fenol 10 moles y Tensafor MV P, los cuales son usados con el fin de acondicionar las partículas del material ya triturado, debido a que estos cambian las propiedades superficiales de las partículas y al ser agentes tensoactivos que se añaden a la disolución, se adsorben selectivamente sobre las partículas, como lo explica Carrillo, “estas se convierten en hidrofóbicas, es decir, las partículas obtienen características de repelencia al agua. También fue necesario el uso de dos espumantes estos son agentes tensoactivos que se adicionan a la disolución con el fin de; estabilizar la espuma; disminuir la tensión superficial del agua, mejorar la cinética de interacción burbuja- partícula y finalmente disminuir el fenómeno de unión o de dos o más burbujas (coalescencia)”.²¹

Tabla 1. Producción de bota PVC para el 2018.

Bota negra		Bota Amarilla		Bota blanca	
Mes	Producción (pares)	Mes	Producción (pares)	Mes	Producción (pares)
Enero	86,143	Enero	21,316	Enero	26,994
Febrero	101,117	Febrero	25,340	Febrero	20,241
Marzo	57,430	Marzo	27,923	Marzo	25,261
Promedio	81,563		24,860		24,165

Fuente. Elaboración propia

2.1 MATERIAS PRIMAS

2.1.1 Scrap. Es el conjunto de bota de PVC no conforme, es decir, el producto defectuoso obtenido del proceso de inyección. La no conformidad del producto se manifiesta con diversos defectos como pierna contaminada, pierna quemada, mala dispersión del material, filtración, exceso de rebaba, escaso material, entre otros. Este es llevado a unos contenedores para posteriormente recircularlo al proceso, este se puede observar en la **Imagen 1**.

²¹ Carrillo Claudio, Verdejo Tomas, Pérez German. Universidad católica de Valparaíso, Facultad de ingeniería química. Laboratorio de operaciones unitarias metalúrgicas, Flotación, p 5-6

Imagen 1. Almacenamiento scrap



Fuente. Elaboración propia.

2.1.2 Selección y tamizado del scrap. En este paso se recolectaron 10 kg de scrap, los cuales fueron llevados a un triturador para cambiar su tamaño de partícula y así poder realizar un tamizado. El tamaño que se obtuvo en el molino fué de 4.75 mm a 5.50 mm, posterior a esto el scrap fue llevado al laboratorio de sólidos de la Universidad de América con el fin de obtener dos tamaños de partícula, una para finos y otra para gruesos. En finos se obtuvieron tamaños de 2 a 4 mm y para gruesos de 4.75 mm en adelante.

Este cambio de tamaño de partícula que se logró con el tamizado es de gran importancia para el fenómeno de la flotación porque si la pulpa no se encuentra del tamaño adecuado es posible que en el momento de la flotación no se obtengan los resultados esperados.

2.2 REACTIVOS

2.2.1 Hidróxido de sodio. Se utiliza para el pretratamiento alcalino de la pulpa, con el fin de afectar las propiedades hidrófilas e hidrófobas de la materia prima a tratar (lamina de PVC/Poliéster), es decir, favorece y aumenta la separación de la lámina mejorando así el ángulo de contacto entre el PVC y la media. Para este proyecto se utilizó en una concentración de 2% w/w, este reactivo se encuentra en grado industrial debido a que este no es totalmente puro y se eligió así porque es más económico y más fácil de manipular que el grado analítico. Este se puede encontrar en estado sólido cristalino de color blanco, como se observa en la **Imagen 2**.

Imagen 2. Hidróxido de Sodio



Fuente. Elaboración propia.

2.2.2 Nonil fenol 10 moles. Este es un alcohol graso etoxilado que se utilizó como tensoactivo para la pulpa debido a que es un surfactante no iónico soluble en agua. Las 10 moles indican el grado de etoxilación del compuesto, lo que quiere decir que vuelve a los distintos alcoholes de cadena larga (insolubles en agua generalmente) en miscibles con el agua y por tanto, más solubles.

En este caso se seleccionó a una concentración de 10 moles, porque según Custodio²² en su experimentación este el valor adecuado para que el poliéster pueda flotar de la lámina de PVC. Este se encuentra en una presentación de botella por 50 ml como se observa en la **Imagen 3**, con una densidad de 1.05 a 1.07 g/cm³ y una masa molecular de 630 g/mol.

Imagen 3. Nonil Fenol 10 moles



Fuente. Elaboración propia.

²² VASQUEZ, Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De PVC Y PET A Partir De Residuos Plásticos. [EN LINEA]. 2012. [Citado en 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <[HTTP://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066](http://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066)>

2.2.3 Tensafor MV-P. Este es el lignosulfonato de calcio de origen orgánico, el cual es “un polímero natural, un polielectrolito aniónico soluble en agua, es un subproducto de la producción de la pulpa de madera usando el proceso de sulfito. Se utiliza en una gran variedad de aplicaciones de unión y dispersión”²³. En este caso se usará como agente tensoactivo para remover el poliéster de la lámina.

2.3 ESPUMANTE

2.3.1. Aceite de pino. Este es un espumante Neutro cuyo empleo en la flotación no depende prácticamente del pH de la pulpa²⁴, debido a que este no modificara las propiedades de la pulpa, este es un constituye a un alcohol aromático y alicíclico, lo cual lo hace una sustancia que contiene terpineol.

Es de gran importancia ya que mantiene la espuma estable y favorece la formación de burbujas para así mejorar la dispersión de las burbujas de aire en la celda de flotación.

2.4 SELECCIÓN REACTIVO DE FLOTACIÓN

Para este proyecto se había pensado en hacer los ensayos con un tercer solvente de flotación el cual es el metil etil cetona (MEK), este se iba a usar porque es un depresor orgánico el cual fue utilizado para disminuir la tensión superficial de los compuestos plásticos a flocular (PVC/poliéster), como lo indico Huting Shen²⁵. Pero se decidió no realizar los ensayos de flotación con este solvente, debido a que al mezclarlo con el espumante (aceite de pino), este iba a afectar las propiedades del scrap y este no iba a funcionar de la misma manera al reincorporarlo al proceso, también se encontró que este es un precursor para elaborar estupefacientes, por esta razón no lo venden de manera libre, y la empresa se vería implicada en una serie de permisos y trámites innecesarios, los cuales no serían accesibles a la empresa y finalmente el costo de este frente a los otros reactivos es muy elevado.

Por este motivo en la experimentación únicamente se usaron dos reactivos de flotación, Nonil fenol 10 moles y Tensafor MV-P. En el **Cuadro 1** se podrá ver la comparación entre los reactivos propuestos en donde se informa si son apropiados para lo que se requiere que es la separación de la lámina o si realmente no es efectivo para dicho objetivo.

²³ SALAGER, Jean Luis. Surfactantes. [EN LINEA]. 2004. [Citado en 10 de Mayo de 2018]. Disponible en internet: <<http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S304.pdf>>

²⁴

²⁵ HUTING, Shen. “separación Por Flotación Selectiva De Plásticos Por Acondicionamiento Químico Con Metil Celulosa. [EN LÍNEA]. 2016. [Citado en 7 de Febrero de 2018]. Disponible en internet: <www.elsevier.com>

Cuadro 1. Reactivos de flotación

Solventes de flotación	Tensafor MV-P	Nonil fenol 10 moles	MEK
Agente tensoactivo	Sí	SI	No
Disminuye tensión superficial	Sí	Sí	Sí
Fácil de Manipular	Sí	Sí	No
Restricciones de uso	No	No	SI

Fuente. Elaboración propia.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del proyecto de grado se divide en dos etapas, la selección y especificación de las materias primas y materiales, y en segundo lugar la metodología para la recuperación de PVC, teniendo como variable de respuesta el porcentaje de remoción de media poliéster para así dar una fase experimental y un desarrollo efectivo del proceso de flotación, para finalmente llegar a un análisis técnico, conceptual y financiero.

3.1 METODOLOGÍA PARA EL PROCESO DE FLOTACIÓN

3.1.1 Diseño de experimentos. Un diseño de experimentos $n = 2^k$, donde 2 representa los niveles y k los factores. Es llevado a cabo, para “medir como influyen los k factores en el proceso y descubrir la interacción entre ellos”²⁶. El proceso es llevado a cabo en una celda de flotación Edemet de una capacidad de 2 Litros de pulpa o disolución, por ser una celda de laboratorio esta funciona por lotes. Se tendrá en cuenta los costos del proceso accediendo a variables de proceso tales como; rpm, pH, porcentaje de pulpa, tiempo de acondicionamiento y finalmente tiempo de flotación. Que posterior a ello se llevara a un análisis conceptual para la remoción de poliéster de la lámina preparada inicialmente.

Los parámetros para llevar a cabo el estudio del factor de respuesta (porcentaje de recuperación de PVC) del diseño de experimentos, fueron tomados de dos artículos principales por los autores Custodio²⁷ y Somaak S²⁸, que manejaron la recuperación de PET y PVC mediante el proceso de flotación, en este caso esta propuesta plantea la posibilidad de recuperar PVC y Poliéster, teniendo en cuenta algunas condiciones llevadas en los artículos originales, por esta razón se decide realizar el diseño de experimentos, ya que no son los mismos componentes y las condiciones como la temperatura de solución, pH, velocidades de agitación (RPM), tiempos de acondicionamiento y de flotación se mantendrán constantes con el fin de minimizar costos y cumplir con el planteamiento del diseño de experimentos factorial de dos niveles a la hora de ejecutar la experimentación, pero que son variables que podrían influir directamente en el proceso pero que se deberán tener en cuenta como recomendación.

²⁶ FERRÉ Joan, El Diseño Factorial Completo 2K. Universidad Rovira i Virgili, Grupo de Quimiometría y Cualimetría. España 2003

²⁷ VASQUEZ, Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De Pvc Y Pet A Partir De Residuos Plásticos. [EN LINEA]. 2012. [Citado en 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <[HTTP://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066](http://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066)>

²⁸ SOMAAK, Saisinchai. Separación De Pvc De Pet Por El Uso De Flotación Con Lignosulfonato De Calcio. [ENGINEERING JOURNAL]. 2014. [Citado en 5 de 2018]. Disponible en internet: <www.ENGINEERING JOURNAL.com>

Para estudiar el porcentaje de recuperación de media poliéster se tendrán en cuenta las concentraciones de 10mg/L y 28 mg/L en el caso del Nonil fenol 10 moles y para el Tensafor MV-P se usaron concentraciones de 3 mg/L y 10 mg/L, siguiendo el rango establecido por los autores Custodio²⁹ y Somaak S³⁰. Esto se evidencia en el cuadro 3. También se tomará en cuenta el tamaño de partícula, el cual se dividió de la siguiente manera; tamaño de partícula fino [2mm a 4mm]; tamaño de partícula grueso [Dp >4.75mm]. Este criterio se eligió de esta manera, porque se siguió las recomendaciones del autor Custodio, el indica en su artículo que estos tamaños de partícula son los adecuados para la celda de flotación. El rango que presenta mayor eficiencia en el proceso es llevando el tratamiento alcalino a una temperatura de 70 °C con una agitación de 800 rpm por media hora, ajustando el pH de disolución según el reactivo a usar (Nonil fenol 10 moles y lignosulfonato de calcio) a 7.5 y 12.5 respectivamente. El tiempo de flotación será de 9 minutos y el acondicionamiento de 2 minutos. Estos valores de experimentación se dejaron variables tomando un valor promedio según el artículo “aplicación de operaciones del procesamiento de minerales a la recuperación de PVC y PET”³¹, este diseño será con un k=2 representando 2 variables independientes (tamaño de partícula y concentración de reactivo) con dos repeticiones como lo muestra la **Ecuación 1**.

Ecuación 1. Diseño factorial 2²

[(Niveles)^variable independiente]*número de réplicas=Número de ensayos.

$$[(2)^2]*2=8 \text{ ensayos}$$

Se usarán dos niveles y como variable de respuesta la concentración de humectante y el tamaño de partícula con un tiempo de tratamiento promedio de 11 minutos por ensayo.

Pero como se deben usar dos tipos de solventes, Nonil fenol 10 moles y Tensafor MV-P se realizan en total 16 ensayos, 8 ensayos con el Tensafor MV-P y 8 ensayos con el Nonil fenol 10 moles. Estos 16 ensayos son el mínimo de pruebas que se pueden realizar para llevar a cabo este diseño de experimentos. Esto aplica en este proyecto debido a que el diseño de experimentos se basó en la **Ecuación 1** en donde se especificó que se realizan como mínimo 2 repeticiones y 2 niveles.

²⁹ VASQUEZ, Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De Pvc Y Pet A Partir De Residuos Plásticos. [EN LINEA]. 2012. [Citado en 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <[HTTP://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066](http://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066)>

³⁰ SOMAAK, Saisinchai. Separación De Pvc De Pet Por El Uso De Flotación Con Lignosulfonato De Calcio. [ENGINEERING JOURNAL]. 2014. [Citado en 5 de 2018]. Disponible en internet: <www.ENGINEERING JOURNAL.com>

³¹ VASQUEZ, Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De Pvc Y Pet A Partir De Residuos Plásticos. [EN LINEA]. 2012. [Citado en 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <[HTTP://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066](http://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066)>

Tabla 2. Pruebas según diseño de experimentos.

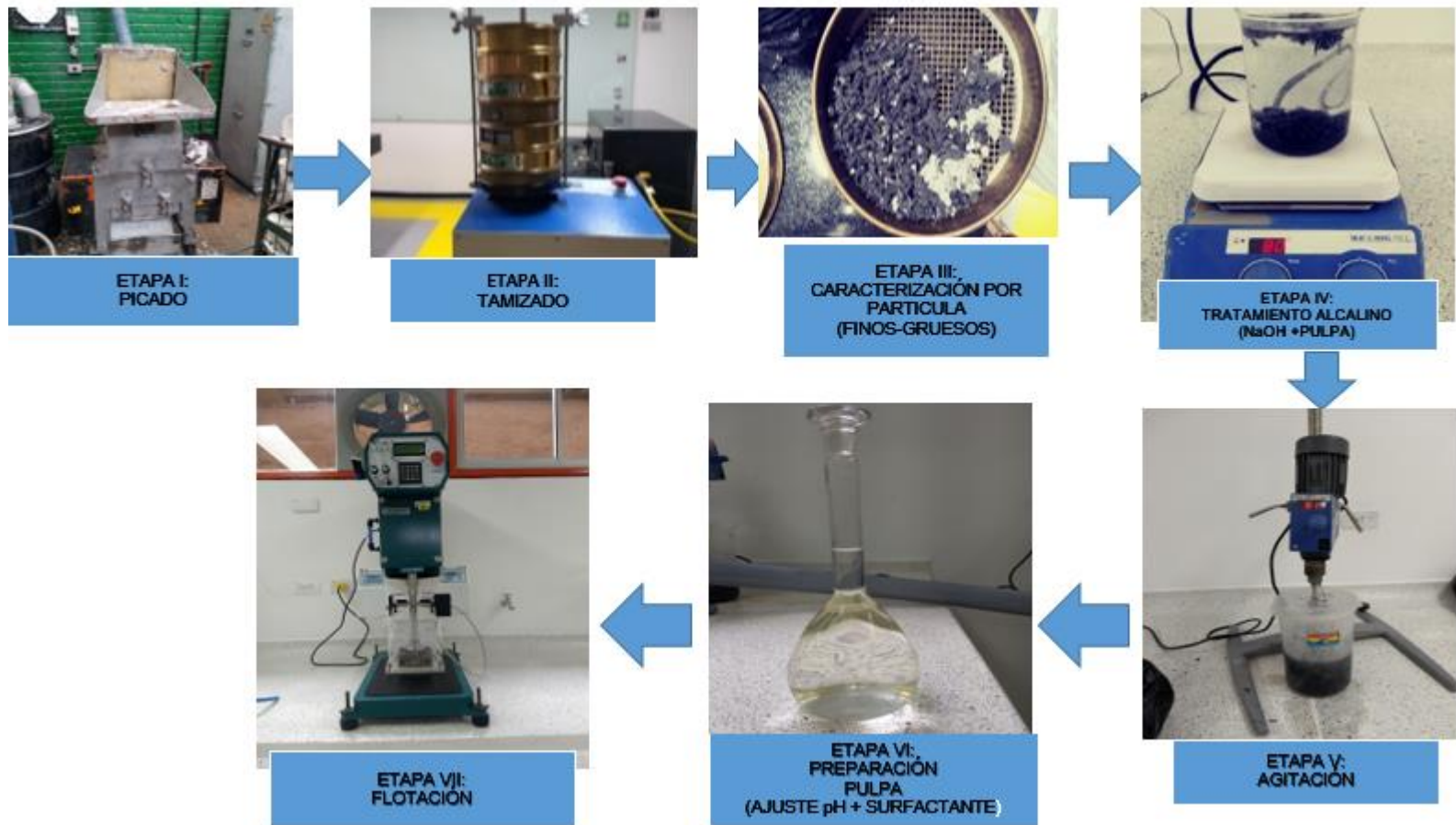
Tamaño de partícula	Tensafor MV P		Nonil fenol 10 moles	
	[3mg/L]	[10mg/ L]	[10 mg/ L]	[28 mg/ L]
Finos [2 -4 mm]				
Gruesos [>4.75mm]				

Fuente. Elaboración propia.

3.2. ETAPAS PARA LA RECUPERACIÓN PVC POR FLOTACIÓN

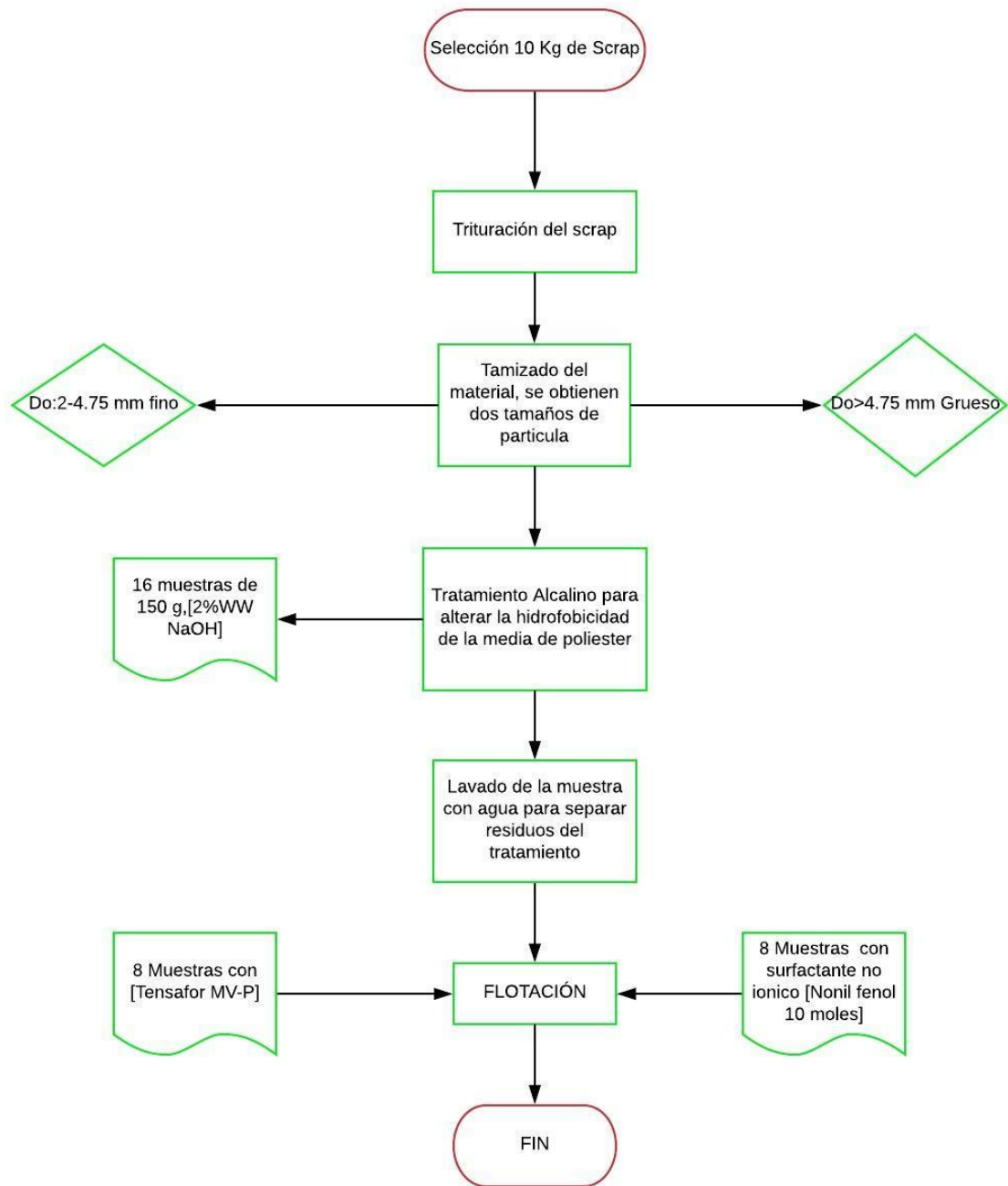
La flotación es el proceso más importante para lograr una efectiva separación de la lámina, por esta razón es necesario acondicionar esta para facilitar la remoción del poliéster. Para cumplir esta separación se llevarán a cabo las siguientes etapas que podrán observar en el **Diagrama 1 y 2**.

Diagrama 1. Etapas en el proceso de flotación.



Fuente. Elaboración propia.

Diagrama 2. Diagrama de bloques proceso de flotación.

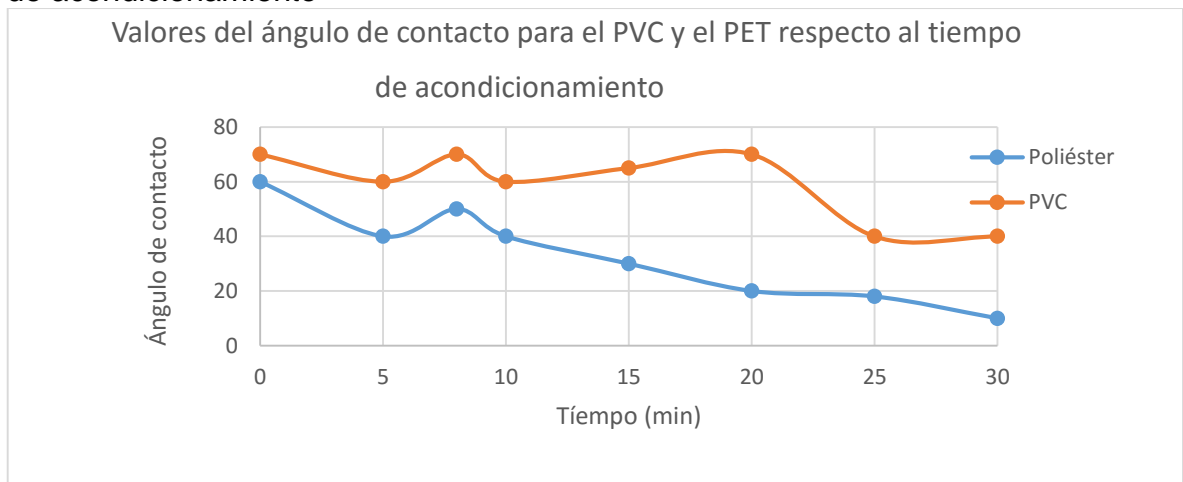


Fuente. Elaboración propia

3.2.1 Caracterización. El efecto del ángulo de contacto entre el PVC y la media de poliéster es de suma importancia porque relaciona en forma cuantitativa las propiedades hidrofóbicas de la lámina PVC/poliéster con la flotabilidad.

El tratamiento alcalino es un proceso muy importante para lograr la efectividad del proceso, este se llevó a cabo con el fin de afectar la hidrofobicidad del PVC y la media poliéster, donde se logra determinar que la hidrofobicidad del PVC es afectada muy poco con el tiempo del tratamiento alcalino, mientras la hidrofobicidad de la media poliéster disminuye después de 30 minutos de tratamiento, por lo tanto el rango de interés de la temperatura de acondicionamiento para el tratamiento alcalino es de 15- 30 minutos.³²

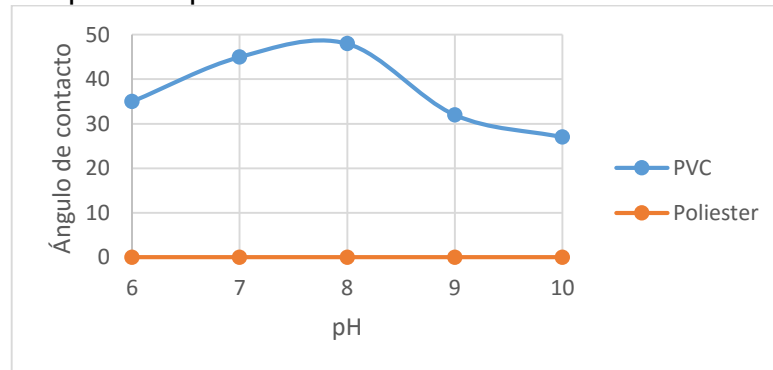
Gráfica 1. Valores del ángulo de contacto para el PVC y el PET Respecto al tiempo de acondicionamiento



Fuente. VASQUEZ,Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De Pvc Y Pet A Partir De Residuos Plásticos

³² VASQUEZ, Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De Pvc Y Pet A Partir De Residuos Plásticos . [EN LINEA]. 2012. [Citado en 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <[HTTP://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066](http://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066)>

Gráfica 2. Valores del ángulo de contacto con respecto al pH de la solución



Fuente: VASQUEZ, Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De PVC Y PET A Partir De Residuos Plásticos

La **Gráfica 2** representa valores del ángulo de contacto en solución de NaOH 2% w/w en rango de temperaturas de 60-80 C° durante 30 minutos, en esta Gráfica se puede observar que la hidrofobicidad del PVC es inalterable mientras que la del PET (media) se reduce a cero, facilitando la separación de ambos polímeros.³³

3.3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se especificarán las condiciones del proceso etapa por etapa para favorecer la fácil remoción de media poliéster de la lámina (PVC/poliéster), con flotación que características de temperatura, pH, tiempos de acondicionamiento alcalino y de flotación y dosificación de los reactivos para preparar las disoluciones.

3.3.1 Selección de los parámetros. Buscando emplear las mejores condiciones para el proceso de flotación, se registran velocidades, tiempos de agitación, concentración de los reactivos de flotación, temperaturas de tratamiento alcalino y pH de la pulpa, durante cada etapa del proceso. En la Tabla 3 se encuentran los parámetros tenidos en cuenta para el desarrollo experimental de la separación lamina PVC/poliéster por flotación.

³³ Ibid., p. 2.

Tabla 3. Parámetros

ETAPA	REACTIVO/ PROCESO	VOLUMEN	AGITACIÓN		TEMPERATURA	pH
			VELOCIDAD	TIEMPO		
1	Picado	10 kg scrap	-----	-----	-----	----
2	Tamizado	250 g por tamizado	-----	10 min	-----	----
3	Caracteriza ción					
4	NaOH+pulp a	1 L	-----	30 min	80 C°	----
5	Agitación	1L	800 RPM	60 min	70 C°	----
6-7	Nonil fenol 10 moles	1.2L	1300 RPM	10 min	-----	6- 8
	Tensafor MV-P	1.2 L	1100 RPM	10min	-----	11 - 12

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros por etapa para la puesta en marcha de esta propuesta de flotación, fueron tenidos en cuenta los artículos: Aplicación de operaciones del procesamiento de Minerales a la recuperación de PVC y PET a partir de residuos plásticos y separación de PVC de PET por el uso de flotación con lignosulfonato de calcio. Los parámetros de la **Tabla 3** fueron fijados (variables independientes) con el fin de cumplir con el diseño factorial de experimentos de dos niveles y también para disminuir costos de experimentación del proceso de flotación. Los valores fueron en su mayoría el promedio de los valores usados en los artículos antes nombrados.

Etapa I: Se recolectaron 10 kg de bota negra (Macha) en Croydon Colombia S.A, posterior a esto se realizó el proceso de picado para disminuir el tamaño de partícula y así facilitar la etapa número II.

Etapa II: Se realizó el tamizado del scrap en los laboratorios de la universidad de América y se realizaron los análisis para separar el tamaño de partícula fino del grueso teniendo en cuenta los siguientes datos de la **Tabla 4**.

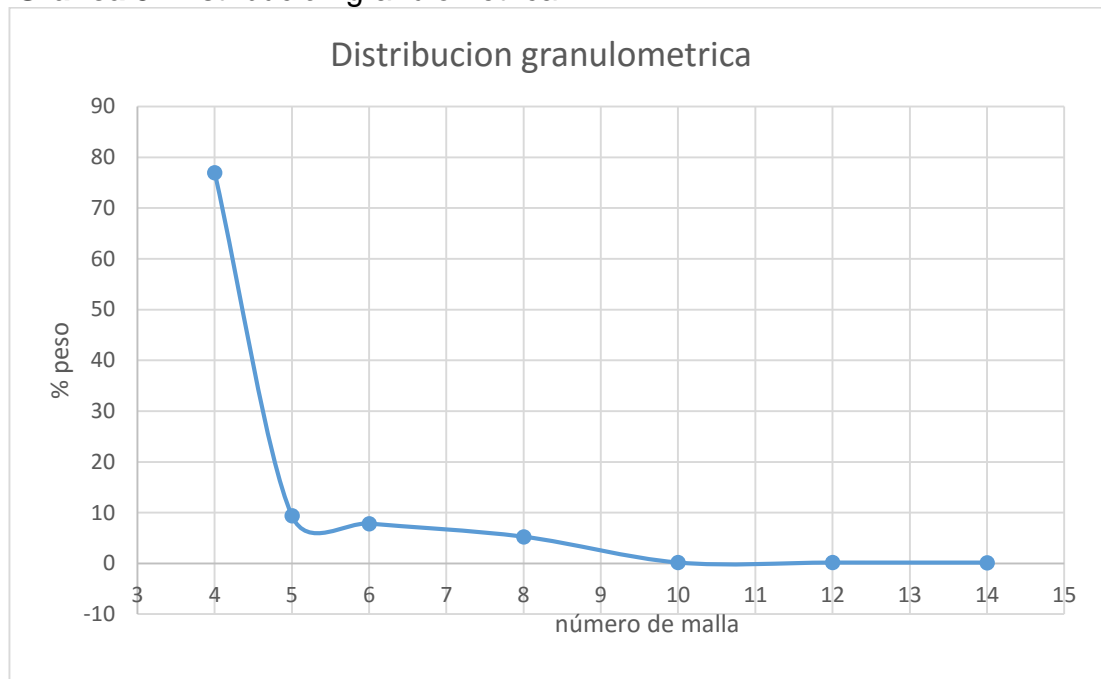
Tabla 4. Análisis granulométrico

Muestra :254.6 g

Malla	Dp(mm)	peso(g)	% Retenido
4	4.75	193.6	76.97
5	4	23.6	9.38
6	3.35	19.7	7.83
8	2.36	13.2	5.25
10	2	0.4	0.20
12	1.7	0.37	0.15
14	1	0.36	0.14
Colector		0.3	0.12
Total		251.53	100

Fuente. Elaboración propia.

Gráfica 3. Distribución granulométrica.



Fuente. Elaboración propia.

La tendencia del tamizaje realizado da como resultado que una gran cantidad de material se queda en la malla 4 (4.75mm Dp), esto se evidencia en la Tabla 5, en donde se observa que en la malla 4 se retiene el 76.97% de scrap y el material restante se distribuye de manera uniforme en los siguientes tamices, como se evidencia en la **Gráfica 3** y en la **Tabla 5**. Por esta razón se decide dividir el tamaño de partícula grueso ($D_p > 4.75\text{mm}$) y tamaño de partícula fino ($D_p < 4.75\text{mm}$), el análisis granulométrico completo se puede encontrar en el anexo 1.

Etapa III: Teniendo en cuenta el análisis granulométrico se caracterizó cada malla, según la **Tabla 5** y se segmentó el material tamizado con el fin de separarlos en finos y gruesos cumpliendo con el diseño de experimentos antes planteado.

Tabla 5. Caracterización mallas

# Malla	Dp	Clasificación
4	4.75	Dp, grueso
5	4	
6	3.35	Dp, Fino
8	2.36	
10	2	
12	1.7	Colector

Fuente. Elaboración propia.

Etapa IV: Después de tener caracterizada la materia prima, se realizará un tratamiento alcalino. Para este fin se separarán 4 muestras de 150 g cada una para el tamaño de partícula grueso y 4 muestras de 150 g para el tamaño de partícula fino, para un total de 8 muestras para el Nonil fenol 10 moles. Posteriormente se separarán las mismas 8 muestras para el lignosulfonato de calcio, para un total de 16 muestras que serán tratadas con NaOH (soda cáustica) preparada al 2% w/w. Este rango se seleccionó de acuerdo a la bibliografía del autor Custodio³⁴. La disolución de pulpa y soda cáustica es tratada a temperaturas de 60 a 80 C° durante un periodo aproximado de 30 minutos.

Etapa V: Para aumentar la hidrofobicidad de la media poliéster y facilitar que el ángulo de contacto quede en cero para la media, se sometió a agitación constante de 800 RPM por un tiempo aproximado de 60 minutos, fue difícil controlar la velocidad de agitación, ver Imagen 4, esto debido a que el agitador variaba y no mantenía en un rango estándar de rpm, por esto se determinó que hay una dispersión de +-12 RPM según el **Gráfico 4**, representando un 1.5 % de error

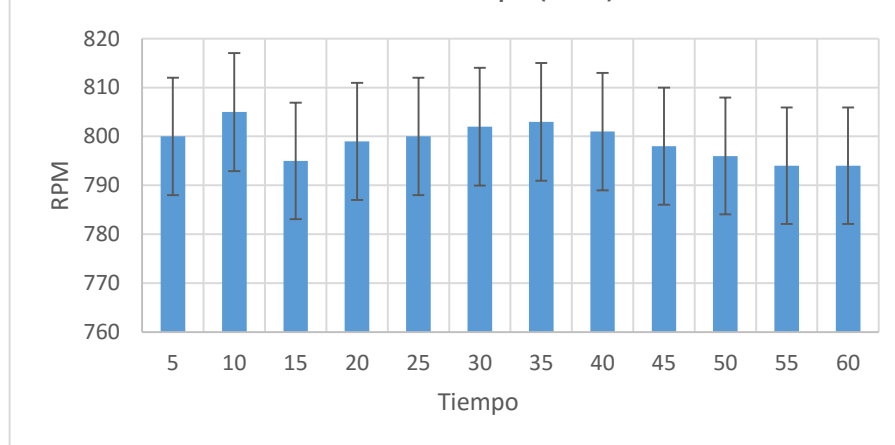
³⁴ Ibid.,p.4.

Imagen 4. Agitación de la pulpa



Fuente. Elaboración propia.

Gráfica 4. Dispersión RPM con respecto al tiempo.
RPM VS tiempo(min)



Fuente. Elaboración propia.

Etapa VI: Posterior al tratamiento alcalino, se realizó la etapa de preparación de la pulpa, en donde se acondiciona la muestra primero realizando un lavado del pulpa para remover compuestos no deseados, luego se ajusta el pH, que para el caso del Nonil fenol 10 moles la pulpa debía estar a un pH entre 6 y 8 y para el Tensafor MV-P entre 11 y 12, una vez ajustado el pH, la pulpa estaba lista para realizar el proceso de flotación.

Etapa VII: Finalmente se realizó el proceso de flotación, en la celda Edemet ver **Imagen 5**, en la cual se tienen en cuenta varios factores como el pH que para el

caso del Nonil fenol debe ser entre 6 y 8 y para el Tensafor MV-P debe ser entre 10 y 11. Otro factor importante es el tiempo de acondicionamiento y flotación que son 2 y 9 minutos respectivamente para ambos reactivos de flotación. Previo al proceso de flotación se prepararon los reactivos de flotación con las siguientes concentraciones; 10 mg/L y 28 mg/L para el Nonil fenol 10 moles y 3 mg/L y 10 mg/L para el Tensafor MV-P. Para poner en funcionamiento la celda de flotación se debe ajustar el flujo de aire mediante una mirilla de vidrio con el fin de generar burbujeo y favorecer la formación de espuma (burbujas) en el proceso.

Imagen 5. Celda de flotacion Edemet



Fuente. Elaboración propia.

3.4 PUESTA EN MARCHA DE LA FLOTACIÓN

Una vez definidos los parámetros para realizar la experimentación se llevaron a cabo siete etapas, siguiendo las condiciones mencionadas anteriormente.

Etapa I: Para iniciar este proyecto se tuvo en cuenta la referencia Macha que es la bota negra de PVC. Como primer paso se realizó la recolección de 10 kg de Scrap, los cuales fueron llevados a una trituradora **Imagen 6** para así obtener un tamaño de partícula más adecuado y así poder continuar con la etapa II que es el tamizado.

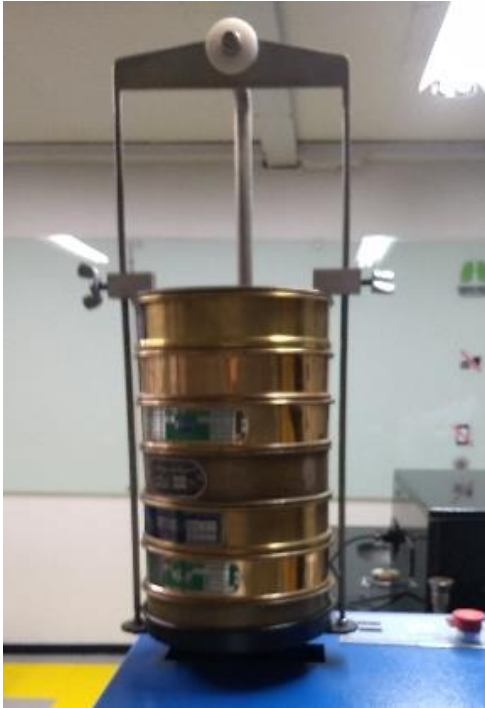
Imagen 6. Triturador



Fuente. Elaboración propia.

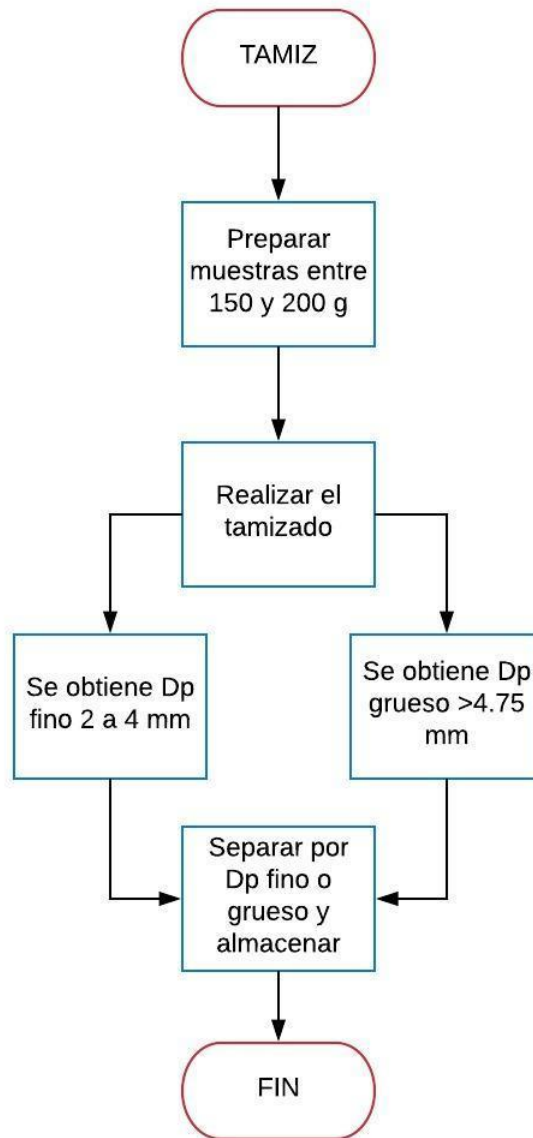
Etapa II: Después de haber obtenido un tamaño de lámina dentro del rango establecido por el autor Custodio Vásquez, el cual nos indica que el D_0 debe ser de 2 a 5mm. Posterior a esto realizó el tamizado, **Imagen 7** el cual es uno de las etapas más importantes en este proceso, puesto que si no hay un tamaño adecuado no habrá un buen resultado en el momento de hacer la flotación. Como se definió en el análisis granulométrico el tamaño de la lámina no debe ser mayor a 4.75 mm ni menor de 2 mm, ver **Diagrama 3**. Puesto que si se sometía el material a la flotación con un D_p de 4.75 se iban a tener problemas en la celda de flotación, debido a que el agitador no está diseñado para hacer revolucionar tamaños de partícula tan grandes, por esta razón al agitar el material no se iba a homogenizar de una manera adecuada y posiblemente se tendría una menor eficiencia en el proceso, debido a que probablemente el scrap podría quedar retenido dentro de la celda de flotación.

Imagen 7. Tamiz



Fuente. Elaboración propia.

Diagrama 3. Proceso de tamizado



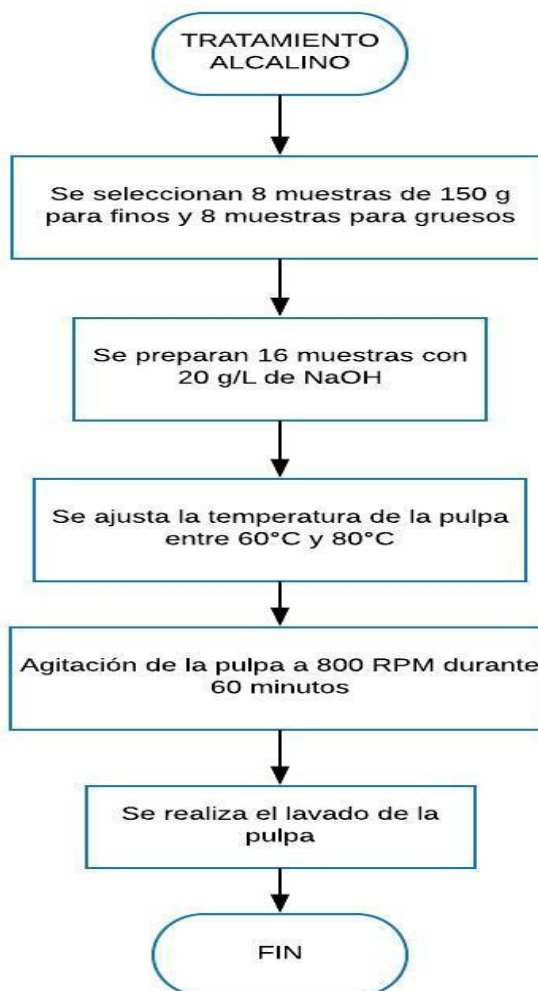
Fuente. Elaboración propia.

Etapa III: En esta etapa hizo la caracterización del tamaño de partícula en dos grupos, finos y gruesos. Debido a que el diseño de experimentos factorial elegido según la **Ecuación 1**, solo permite trabajar con dos niveles para el diseño de experimentos planteado para este proyecto, se tomó como nivel alto o máximo el tamaño de partícula grueso y el nivel mínimo o bajo el tamaño de partícula fino. Todo esto se realiza con el fin de determinar cuál de los dos niveles tiene un mayor

porcentaje de recuperación de PVC (variable de respuesta diseño de experimentos).

Etapa IV: Es la segunda etapa más importante del proceso, aquí se realizó el tratamiento alcalino el cual acondiciona el material para facilitar el proceso de la flotación, este tratamiento se realizó con NaOH a una concentración de 20 g/L, el cual se utiliza con el fin de afectar las propiedades hidrófilas e hidrófobas de la materia prima a tratar (lamina de PVC/Poliéster), es decir, favorece y aumenta la separación de la lámina mejorando así el ángulo de contacto entre el PVC y la media. En el **Diagrama 4** se observa el proceso de dicha etapa.

Diagrama 4. Tratamiento alcalino

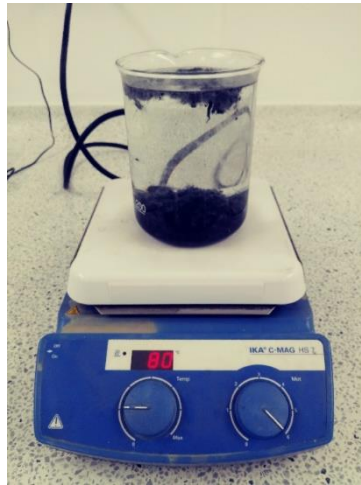


Fuente. Elaboración propia.

Etapa V: Después del tratamiento alcalino la pulpa se sometió a una agitación de 800 rpm, esto se hizo con el fin de aumentar la hidrofobicidad de la lámina de

PVC/poliéster, para esta etapa se tuvo en cuenta que la temperatura y el tiempo afectaban el proceso de la flotación, esta agitación se debe realizar cuando la pulpa se encuentre en un rango de 60°C a 80 °C, estos valores se establecieron en este valor, porque en el diseño de experimentos no se tuvo en cuenta la temperatura como un factor, pero si como una variable independiente fija. Por esta razón se escogieron estos rangos con un tiempo de agitación de 30 minutos. Ver **Imagen 8**.

Imagen 8. Calentamiento de la pulpa



Fuente. Elaboración propia.

Etapa VI: En esta etapa es muy importante mantener el pH, en las condiciones establecidas con el fin de que los tensoactivos en el momento de la flotación se mantuvieran en el rango indicado. Después de ser tratada la pulpa con el NaOH se sometía a un lavado con agua para retirar el NaOH de la pulpa ver **Imagen 9**, luego se ajustaba el pH, para el Nonil fenol 10 moles se mantuvo pH entre 6 y 8 y para el Tensafor MV-P entre 11 y 12.

Imagen 9. Pulpa + NaOH



Fuente. Elaboración propia.

Etapas VII: Por último, se realizó el proceso de flotación en la celda Edemet, este se hizo con el fin de hacer un tratamiento químico al scrap para crear condiciones favorables para la adhesión de la media de poliéster a las burbujas de aire. La flotación tiene por objeto la separación de especies a partir de una pulpa acuosa, aprovechando sus propiedades de afinidad (hidrofílico) o repulsión (hidrofóbico) por el agua. Las especies valiosas serían las que floten, mientras que las especies no valiosas constituyen la mayor parte a las de carácter hidrofílico o de afinidad hace que estas partículas se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa, para finalmente hundirse. El carácter hidrofóbico o de repulsión evita el mojado de las partículas que pueden adherirse a las burbujas y ascender³⁵.

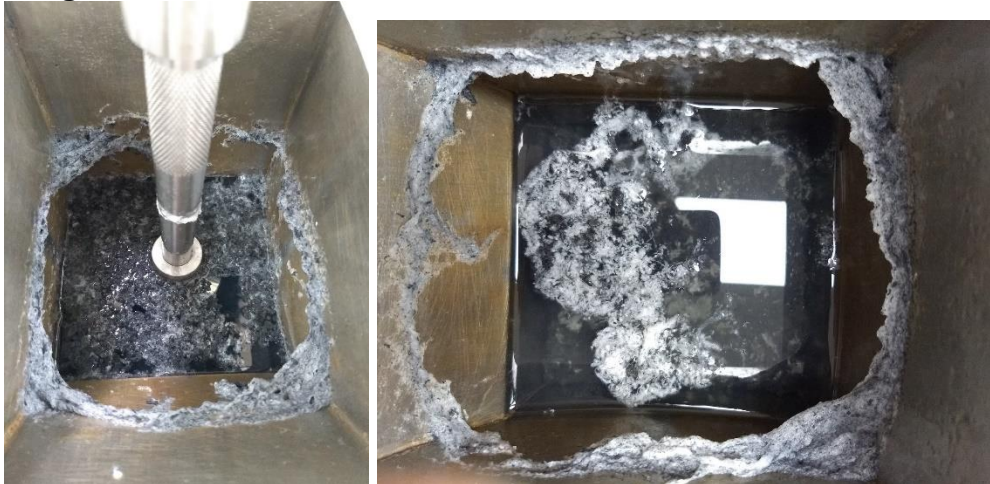
En esta etapa se realizaron 16 ensayos de flotación, 8 con Nonil fenol 10 moles y 8 con Tensafor MV-P. Una vez acondicionada la pulpa o scrap se agregaba la muestra a la celda de flotación, esta se acondicionaba por un tiempo de 2 minutos, esto para homogenizar la pulpa con el reactivo de flotación, después de esto se programaba la celda para realizar la flotación por un tiempo de 9 minutos.

Una vez transcurrido el tiempo de flotación, el poliéster fue el que flotó ya que este contiene una densidad menor a la del PVC que para este caso es de 1.18 g/cm^3 , en la **Imagen 10** se puede observar como flotó la media en la celda después de someter la lámina al proceso de flotación. Para que este proceso de flotación sea el adecuado se definieron parámetros independientes como lo son el pH, tiempo de flotación, tiempo de acondicionamiento, rpm y temperatura. Estos parámetros se

³⁵ BRAVO, Cesar. .Manual De Flotacion De Minerales. [s.l.]. 2016. 4 p.

definieron de esta manera, porque en el diseño de experimentos los dos factores que más influían en el proceso de acuerdo a Custodio Vásquez.³⁶

Imagen 10. Proceso de flotación.



Fuente: Elaboración propia.

3.5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

De acuerdo a las etapas anteriormente planteadas y explicadas , se realizó la experimentación para cumplir con el objetivo de escoger el mejor reactivo de flotación para la separación de la lámina PVC/poliéster, ejecutando como variable de respuesta el porcentaje de recuperación de PVC y posterior a esto analizar los datos mediante un ANOVA (análisis de varianza) para identificar las variables que afectan la variable de respuesta teniendo en cuenta y llevando a cabo un diseño de experimentos factorial 2^k ³⁷ como se muestra en la **Tabla 6** :

Tabla 6. Variables diseño de experimentos

Factor	Nivel
Tamaño de partícula (A)	Bajo (0)
Concentración (B)	Alto (1)

Fuente. Elaboración propia.

³⁶ VASQUEZ, Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De Pvc Y Pet A Partir De Residuos Plásticos. [EN LINEA]. 2012. [Citado en 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <HTTP://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066>

³⁷ Modelo De Diseños Factoriales Y Diseños 2^k . [EN LINEA]. [Citado en 28 de Mayo de 2018]. Disponible en internet: <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Disenno/tema3DE.pdf>

Los niveles altos de los factores se representan mediante la letra (A) y (B) respectivamente y los niveles bajos se representan por la ausencia de dichas letras. Si ambos niveles son bajos se considera un valor igual a (1), estos valores se representan a continuación (**Tabla 7**) para un total de n repeticiones que para este caso en particular es 1, para un total de 8 experimentos por reactivo de flotación.

Tabla 7. Conversiones

Interacción	Convención
[0,0]	[1]
[0,1]	(A)
[1,0]	(B)
[1,1]	(A,B)

Fuente: Elaboración propia.

3.6 DETERMINACIÓN PORCENTAJE PVC Y POLIÉSTER ALIMENTADOS

Para determinar la cantidad en peso (gramos) de PVC y de media poliéster que hay en una lámina, se llevaron a cabo una serie de cálculos con el fin de determinar el porcentaje de cada uno de los compuestos.

Para calcular el porcentaje de media poliéster y de PVC, se tomaron diferentes muestras de láminas de PVC/poliéster, después se determinó el peso de la lámina y posteriormente el peso de la lámina solo con PVC, con el fin de hallar el peso de la media poliéster presente en la mezcla. La **Tabla 8** muestra claramente los porcentajes de media poliéster y de PVC de las diferentes muestras que se tomaron.

Tabla 8. Porcentaje media Poliéster y PVC

Con media (g)	Sin media (g)	Media (g)	% Media	%PVC
0.15	0.14	0.004	2.92	97.07
0.20	0.20	0.007	3.73	96.26
0.19	0.18	0.006	3.36	96.63
0.17	0.16	0.008	4.67	95.32
0.20	0.19	0.007	3.82	96.17
0.19	0.18	0.006	3.25	96.74

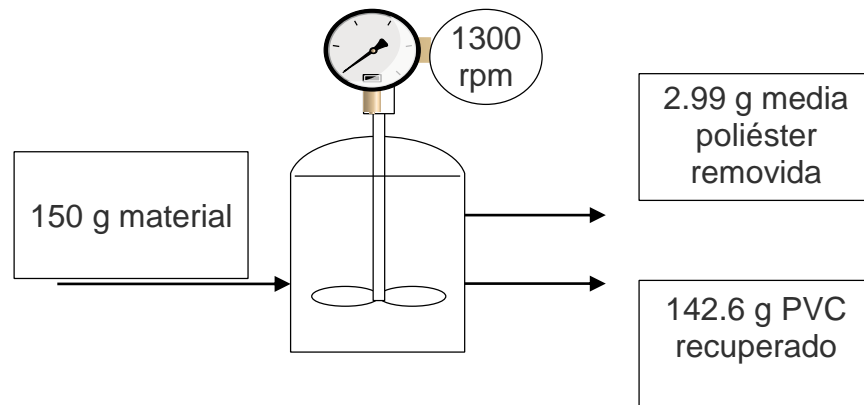
Fuente. Elaboración propia

Según los datos obtenidos en la Tabla 9, se determinó que el porcentaje de media poliéster y de PVC en la mezcla son del 3.5 % y 96.5% respectivamente. Estos datos se concluyeron realizando un promedio estimado entre los datos mostrados en la **Tabla 8**.

Como se mencionó previamente los ensayos se realizaron con 150 g de scrap y ya con los porcentajes obtenidos en la Tabla 9, se dice que en los 150 g de lámina hay 144.75 g de PVC y el restante sería media poliéster, lo cual corresponde a 5.25 g.

3.6.1 Balance de recuperación de PVC para Nonil fenol 10 moles. El siguiente esquema se realizó en todas las pruebas de flotación realizadas, se debe tener en cuenta que hay una inyección de aire automática en el proceso en donde el PVC recuperado queda deprimido en el fondo del proceso y el poliéster en la superficie del agua.

Diagrama 5. Balance de materia global



Fuente. Elaboración propia.

El Diagrama 5 representa el balance global realizado por prueba para calcular el porcentaje de recuperación de PVC, el cual tiene como fuente de alimentación 150 gramos de scrap tratado y como resultado el PVC recuperado y la media poliéster retirada del proceso.

Para llevar a cabo este balance, se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

A=alimentación

PVCR= PVC recuperado (gramos)

POLR=media poliéster removido (gramos)

MATP= material perdido en el proceso (gramos)

Ecuación 2.Balance global de materia del proceso

$$A = PVCR + POLR + MATP$$

Ecuación 3. Porcentaje de recuperación de PVC

$$\% \text{recuperación PVC} = \frac{POLR}{5.25 \text{ gramos Poliester alimentado}} * 100$$

Ecuación 4. Porcentaje de material perdido en el proceso

$$\% \text{material perdido} = \frac{\text{Material perdido aproximado}}{\text{Alimentación}} * (100)$$

Ecuación 5. Fracción poliéster removida

$$\text{fraccion poliéster removida} = \frac{\text{POLR}}{5.25 \text{ g poliéster alimentado}}$$

Ecuación 6. Material perdido en el proceso

$$\text{material perdido aproximado} = A - (\text{material seco (g)} + \text{peso media poliéster})$$

Aplicando las ecuaciones 3, 4, 5 y 6 se realizaron los respectivos balances para el reactivo de flotación Nonil fenol 10 moles y se obtuvieron los siguientes resultados:

- $\% \text{recuperación PVC} = \frac{2,99}{5.25 \text{ gramos Poliester alimentado}} * 100$
- $\% \text{recuperación PVC} = 56,95 \sim 57\% \text{ PVC recuperado}$
- $\text{Material perdido aproximado} = 150\text{g} - (142.6 + 2.99) = 4.41$
- $\% \text{Material perdido} = \frac{4.41}{150 \text{ g}} * (100) = 2.94\%$

Como se puede ver, en este ensayo habían 4.41 gramos de material perdido en el proceso, los cuales representan un 2.94 % de la mezcla alimentada. Esta pérdida del material se debe a que en la etapa VII, en el momento de retirar el material de la celda por errores humanos se pudo haber quedado una parte de este atrapado en la celda o al momento de retirar la media de poliéster de la pulpa algunas trazas de PVC se fueron con la media.

La **Tabla 9** representa los datos de PVC recuperado para los 8 ensayos realizados con Nonil fenol 10 moles.

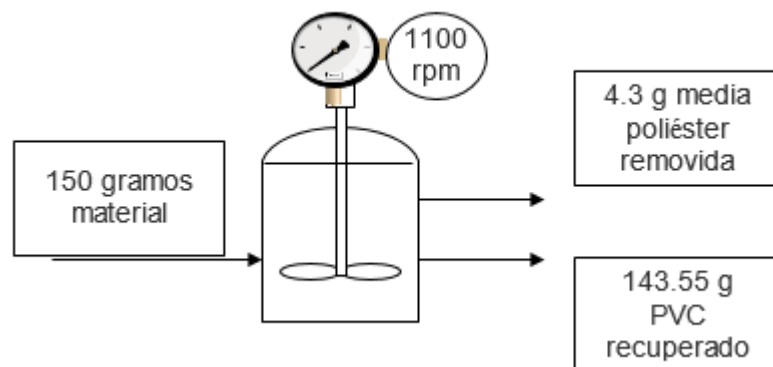
Tabla 9. Porcentaje de recuperación de PVC con Nonil Fenol 10 moles.

Ensayo	Tamaño de partícula	Concentración mg/L	Peso seco (g)	Peso media (g)	% Recuperación PVC	Material perdido	% Material perdido
1	Fino	10	142.60	2.99	56.95	4.41	3
2			139.80	3.20	60.95	7.00	5
3	Fino	28	144.00	4.30	81.90	1.70	1
4			142.48	4.12	78.48	3.40	2
5	Grueso	10	137.50	2.80	53.33	9.70	6
6			139.50	2.50	47.62	8.00	5
7	Grueso	28	143.69	3.90	74.29	2.41	2
8			132.60	3.40	64.76	14.00	9

Fuente. Elaboración propia.

3.6.2 Balance de recuperación de PVC para Tensafor MV-P. El Diagrama 6 representa el balance global realizado por prueba para calcular el porcentaje de recuperación de PVC utilizando como reactivo de flotación el Tensafor MV-P, al igual que el Nonil tiene como fuente de alimentación 150 gramos de scrap tratado y como resultado el PVC recuperado y la media poliéster retirada del proceso.

Diagrama 6. Balance de materia global



Fuente. Elaboración propia.

Para llevar a cabo este balance, se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

A=alimentación

PVCR= PVC recuperado (gramos)=peso seco (g)

POLR=media poliéster removido (gramos)

MATP= material perdido en el proceso (gramos)

Ecuación 7. Balance de material global del proceso

$$A = PVCR + POLR + MATP$$

Ecuación 8. Porcentaje de recuperación de PVC

$$\%recuperacion\ PVC = \frac{POLR}{5.25\text{ gramos Poliester alimentado}} * 100$$

Ecuación 9. Porcentaje de material perdido en el proceso

$$\%material\ perdido = \frac{Material\ perdido\ aproximado}{Alimentación} * (100)$$

Ecuación 10. Fracción poliéster removida

$$fraccion\ poliéster\ removida = \frac{POLR}{5.25\text{ g poliéster alimentado}}$$

Ecuación 11. Material perdido en el proceso

$$material\ perdido\ aproximado = A - (material\ seco\ (g) + peso\ media\ poliéster)$$

Aplicando las ecuaciones 8, 9,10 y 11 se realizaron los respectivos balances para el reactivo de flotación Nonil fenol 10 moles y se obtuvieron los siguientes resultados para la prueba 9:

- $\%recuperacion\ PVC = \frac{4.3}{5.25\text{ gramos Poliester alimentado}} * 100$
- **$\%recuperacion\ PVC = 82\% \text{ PVC recuperado}$**
- **$material\ perdido\ aproximado = 150\text{ g} - (143.55\text{g} + 4.3\text{g}) = 2.15\text{g}$**
- **$\%material\ perdido = \frac{2.15\text{ g}}{150\text{ g}} * (100) = 1.43\%$**

Como se puede ver, en este ensayo habían 2.15 gramos de material perdido en el proceso, los cuales representan un 1.43 % de la mezcla alimentada. Esta pérdida del material se debe a que en la etapa VI, en el momento de retirar el material de la celda por errores humanos se pudo haber quedado una parte de este atrapado en la celda o al momento de retirar la media de poliéster de la pulpa algunas trazas de PVC se fueron con la media. La Tabla 10 representa los datos de PVC recuperado para los 8 ensayos realizados con Tensafor MV-P.

Tabla 10. Porcentaje de recuperación PVC con Tensor MV-P

Ensayo	Tamaño de partícula	Concentración mg/L	Peso seco (g)	Peso media (g)	% Recuperación PVC	Material perdido	% Material perdido
9	Fino	3	143.55	4.3	81.90	2.15	1.4
10			139.07	3.8	72.38	7.13	4.8
11	Fino	10	144.5	5.2	99.05	0.3	0.2
12			143.1	5.1	97.14	1.8	1.2
13	Grueso	3	142.8	3.1	59.05	4.1	2.73
14			140.17	3.2	60.95	6.63	4.42
15	Grueso	10	144.19	3.6	68.57	2.21	1.5
16			143.9	4.1	78.10	2	1.3

Fuente. Elaboración propia.

3.7 CONCEPTO DE INTERACCIÓN (TENSAFOR MV-P)

Para ilustrar la interacción de los datos obtenidos e identificar la relación de los mismos con la variable de respuesta (porcentaje de recuperación de PVC), se toman dos conjuntos de datos (Tabla 11). Considerando dos factores: tamaño de partícula [con niveles alto (gruesos) y bajo (finos)] y concentración de reactivo de flotación (con los niveles alto y bajo), ver Tabla 12.

Tabla 11. Datos de interacción

a/b	b1	b2
a1	59.04	99.04
a2	72.32	60.95

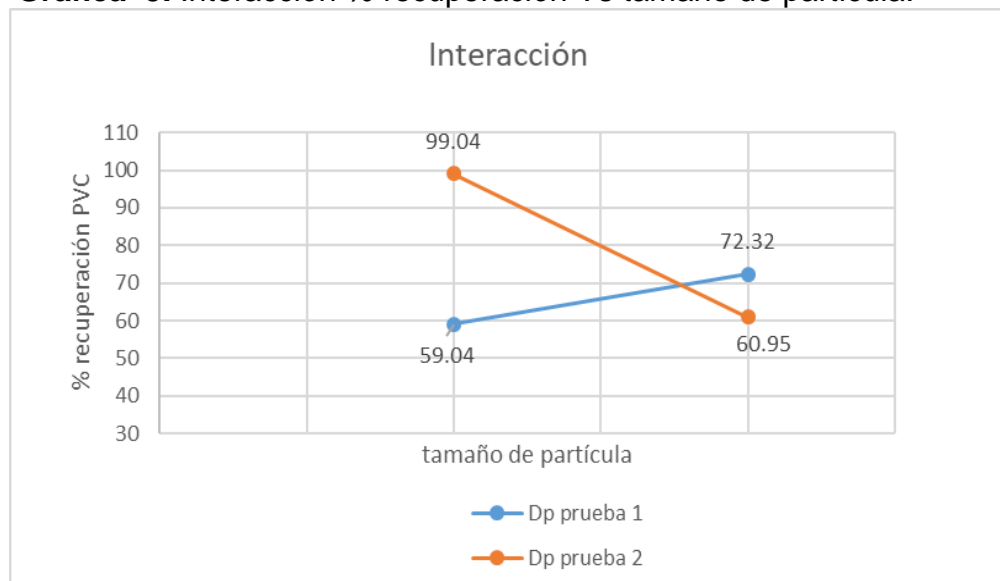
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 12. Variables

Variables	
a1	Dp fino
a2	Dp grueso
b1	Concentración baja
b2	Concentración alta

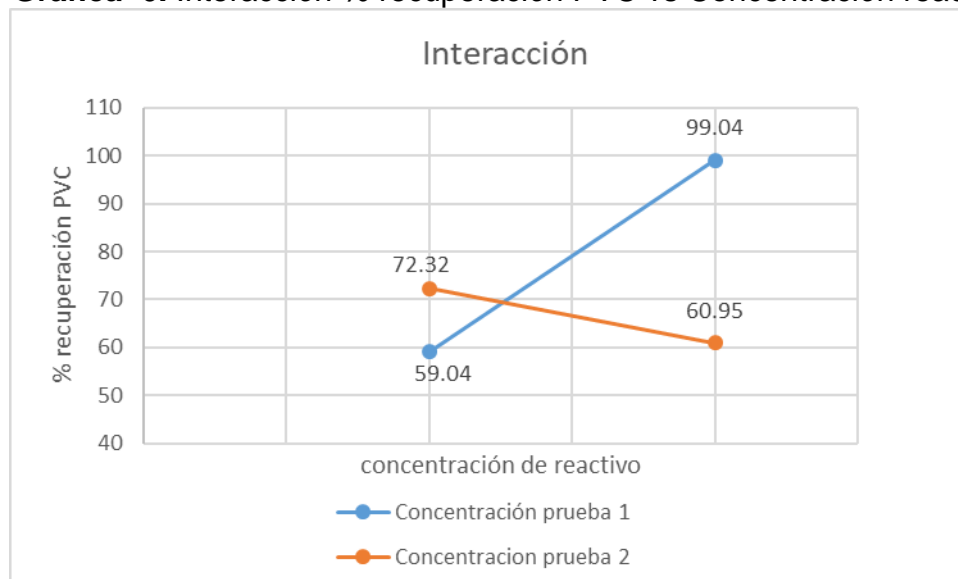
Fuente. Elaboración propia.

Gráfica 5. Interacción % recuperación Vs tamaño de partícula.



Fuente. Elaboración propia.

Gráfica 6. Interacción % recuperación PVC vs Concentración reactivo



Fuente. Elaboración propia.

El gráfico 5 y 6 muestran la existencia de interacción entre las variables, debido a que las rectas se cruzan entre sí. Esto quiere decir que los factores tamaños de partícula y concentración de reactivo de flotación tienen relación implícita con el porcentaje de recuperación de PVC.

3.7.1 Planteamiento de la hipótesis (Tensafor MV-P). De acuerdo a lo explicado en el diseño experimental, se plantearon las siguientes hipótesis para el reactivo de flotación, Tensafor MV-P. Teniendo en cuenta los siguientes niveles ver Tabla 13.

Tabla 13. Factores

Nivel	FACTOR A	FACTOR B
Bajo	Tamaño de partícula fino	[3 mg/L]
Alto	Tamaño de partícula grueso	[10 mg/L]

Fuente. Elaboración propia.

Hipótesis nula. No hay efecto de los niveles alto y bajo de los factores tamaño de partícula y concentración de reactivo de flotación.

Hipótesis alterna. Hay efecto de los niveles alto y bajo de los factores tamaño de partícula y concentración de reactivo de flotación sobre el porcentaje de recuperación de PVC.

3.7.2 Consolidación de datos Tensafor MV-P. En la Tabla 14 se evidencia la toma de datos con su debida replicación por experimento. Se evaluó el material de PVC recuperado durante todo el proceso, con una alimentación inicial por experimento de 150g de Scrap.

Tabla 14. Consolidación de datos

Prueba	Detalle	Peso seco (g)	Peso media (g)	% Recuperación PVC	Material perdido
1	[0,0]	143.55	4.3	81.90	2.15
2	[0,1]	144.5	5.2	99.04	0.3
3	[1,0]	142.8	3.1	59.04	4.1
4	[1,1]	144.19	3.6	68.57	2.21
5	[0,0]	139.07	3.8	72.38	7.13
6	[0,1]	143.1	5.1	97.14	1.8
7	[1,0]	140.17	3.2	60.95	6.63
8	[1,1]	143.9	4.1	78.09	2

Fuente. Elaboración propia.

3.7.3 Análisis de varianza Tensafor MV-P. Se realizó mediante la Tabla ANOVA, en donde el método exige hallar sumas de cuadrados y cuadrados medios para encontrar los valores F para cada factor y contrastarlos con los valores teóricos. Los resultados de las sumatorias son expuestos en el anexo B y los valores del factor de respuesta son mostrados a continuación Tabla 15.

Tabla 15. Análisis de varianza

F	Factor
24.92	A
37.23	B
	Interacción (AB)
1.23	

Fuente. Elaboración propia.

F teórico =7.71 (evaluado con una probabilidad normalizada del 95 %) ³⁸.

F teórico =7.71 es un valor que depende de los grados de libertad por factor (2) para un total de 4 y un número de repeticiones que en este caso es 2. Esto evaluado a una probabilidad del 95 % da como resultado un F teórico =7.71 cumpliendo lo siguiente:

³⁸ Modelo De Diseños Factoriales Y Diseños 2^k. [EN LINEA]. [Citado en 28 de Mayo de 2018]. Disponible en internet: <<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Disenno/tema3DE.pdf>>

Ecuación 12. Factor teórico

$$FA > F_{a-1,ab(n-1),0.95}$$

Donde a y b son los grados de libertad para el factor A (2) y el factor B (2), y n es el número de repeticiones que para este caso es 2.

La variable F (factor de respuesta o teórico) es muy importante en este diseño de experimentos, debido a que mostró claramente cómo se comportan las variables tamaño de partícula y concentración de reactivo, para la recuperación de PVC de la lámina. Para calcular el factor de respuesta fue necesario utilizar una serie de factores cuadráticos que no infieren en el comportamiento del porcentaje de recuperación de PVC, pero si ayudan a analizar matemáticamente el comportamiento de las variables presentes en el proceso. Estos conjuntos de variables incluyen los datos altos y bajos de cada factor que da como resultado a F.

Para el análisis de los datos calculados con los teóricos, no es necesario conocer la diferencia que separa los valores, solamente es necesario saber si el valor de F calculado por factor es mayor o menor al teórico para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

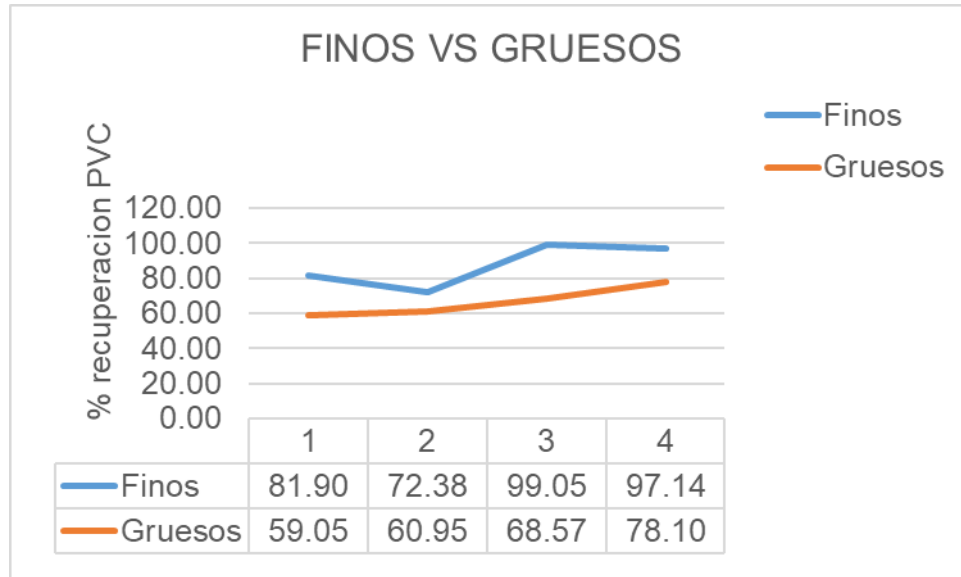
Teniendo en cuenta las generalidades expuestas en la hipótesis y de acuerdo a los datos de la Tabla 30 del análisis de varianza, el factor A (tamaño de partícula) y el factor B afectan positivamente el porcentaje de recuperación de PVC, ya que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna, es decir, $FA > F$ teórico y $FB > F$ teórico. Por otro lado la interacción entre los dos factores no afecta el porcentaje de recuperación de PVC, debido a que el F teórico $> F$ interacción, aceptándose la hipótesis nula.³⁹

La Gráfica 7 representa el porcentaje de recuperación para tamaño de partícula fino y grueso. En esta Gráfica se puede identificar que el tamaño de partícula fino puede llegar a una recuperación del 99 % de PVC utilizando Tensafor MV-P como reactivo de flotación. Estos resultados fueron los esperados de acuerdo a los valores expuestos en el artículo de Somsak Saisinchai⁴⁰.

³⁹ Modelo De Diseños Factoriales Y Diseños 2^k. [EN LINEA]. [Citado en 28 de Mayo de 2018]. Disponible en internet: <<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Disenno/tema3DE.pdf>>p24

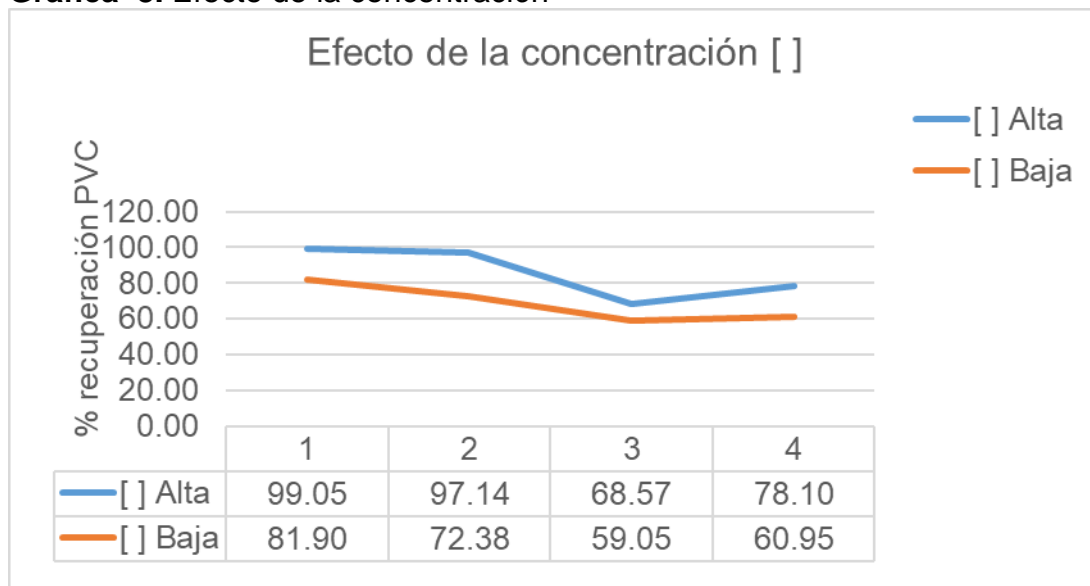
⁴⁰ SOMAAK, Saisinchai. Separación De Pvc De Pet Por El Uso De Flotación Con Lignosulfonato De Calcio. [ENGINEERING JOURNAL]. 2014. [Citado en 5 de 2018]. Disponible en internet: <www.ENGINEERING JOURNAL.com>

Gráfica 7. Finos Vs Gruesos



Fuente. Elaboración propia.

Gráfica 8. Efecto de la concentración



Fuente. Elaboración propia.

La Gráfica 8 representa el porcentaje de recuperación de PVC según el efecto de una concentración alta o baja. Se puede identificar que la concentración de reactivo alta (10 mg/L) puede llegar a una recuperación del 99 % de PVC con Tensafor MV-P, corroborando los valores expuestos en el artículo de Somsak Saisinchai⁴¹.

⁴¹ Ibid. , p. 5.

3.8 CONCEPTO DE INTERACCIÓN (NONIL FENOL 10 MOLES)

Para ilustrar la interacción de los datos obtenidos e identificar la relación de los mismos con la variable de respuesta (porcentaje de recuperación de PVC), se toman dos conjuntos de datos Tabla 16. Considerando dos factores: tamaño de partícula (con niveles alto (gruesos) y bajo (finos)) y concentración de reactivo de flotación (con los niveles alto y bajo), ver Tabla 17.

Tabla 16. Datos de interacción

a/b	b1	b2
a1	56.95	78.47
a2	64.76	47.33

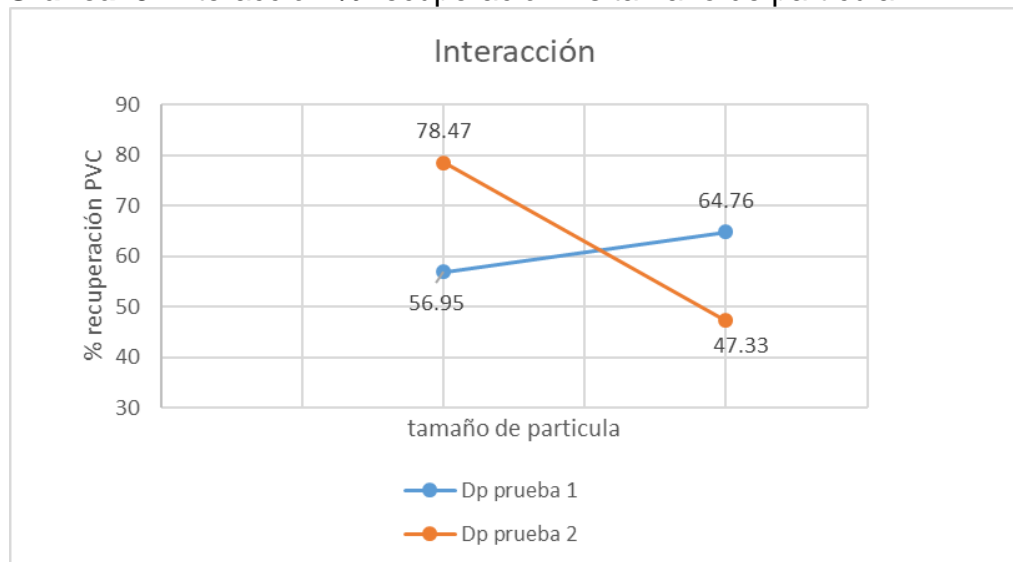
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 17. Caracterización de variables

Variables	Factores
a1	Dp fino <4.75 mm
a2	Dp grueso >4.75 mm
b1	Concentración baja
b2	Concentración alta

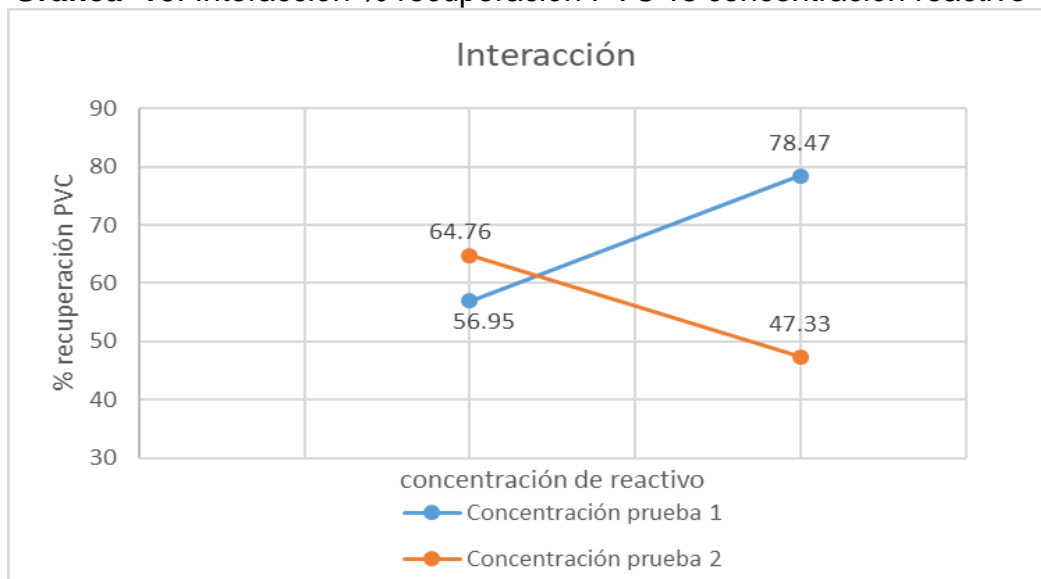
Fuente. Elaboración propia.

Gráfica 9. Interacción % recuperación Vs tamaño de partícula



Fuente. Elaboración propia.

Gráfica 10. Interacción % recuperación PVC vs concentración reactivo



Fuente. Elaboración propia.

La Gráfica 9 y 10 muestran la existencia de interacción entre las variables, debido a que las rectas se cruzan entre sí. Esto quiere decir que los factores tamaños de partícula y concentración de reactivo de flotación tienen relación implícita con el porcentaje de recuperación de PVC, al igual que el Tensafor MV-P.

3.8.1 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS (NONIL FENOL 10 MOLES). De acuerdo a lo explicado en el diseño experimental, se plantearon las siguientes hipótesis para el reactivo de flotación, Nonil fenol 10 moles. Teniendo en cuenta los siguientes niveles ver Tabla 18:

Tabla 18. Factores

Nivel	FACTOR A	FACTOR B
Bajo	Tamaño de partícula fino	[10 mg/L]
Alto	Tamaño de partícula grueso	[28 mg/L]

Fuente. Elaboración propia.

Hipótesis nula. No hay efecto de los niveles alto y bajo de los factores tamaño de partícula y concentración de reactivo de flotación.

Hipótesis alterna. Hay efecto de los niveles alto y bajo de los factores tamaño de partícula y concentración de reactivo de flotación sobre el porcentaje de recuperación de PVC.

3.8.2 Consolidación de datos Nonil fenol 10 moles. En la Tabla 19 se evidencia la toma de datos con su debida replicación por experimento. Se evaluó el material de PVC recuperado durante todo el proceso, con una alimentación inicial por experimento de 150 g de Scrap.

Tabla 19. Consolidación de datos

Experimento	Detalles	Peso seco (g)	Peso media (g)	% recuperación PVC	Material perdido
1	[0,0]	142.6	2.99	56.95	4.41
2	[0,1]	144	4.3	81.90	1.7
3	[1,0]	137.5	2.8	53.33	9.7
4	[1,1]	143.69	3.9	74.29	2.41
5	[0,0]	139.8	3.2	60.95	7
6	[0,1]	142.48	4.12	78.48	3.4
7	[1,0]	139.5	2.5	47.62	8
8	[1,1]	132.6	3.4	64.76	14

Fuente. Elaboración propia.

3.8.3 Análisis de varianza Nonil fenol 10 moles. Se realizó mediante la Tabla ANOVA, en donde el método exige hallar sumas de cuadrados y cuadrados medios para encontrar los valores F para cada factor y contrastarlos con los valores teóricos. Los resultados de las sumatorias son expuestos en el anexo 1 y los valores del factor de respuesta son mostrados a continuación (Tabla 20).

Tabla 20. Análisis de varianza

F	Factor
42.96	A
9.70	B
0.12	Interacción (AB)

Fuente. Elaboración propia.

F teórico =7.71 (evaluado con una probabilidad normalizada del 95 %) ⁴².

F teórico =7.71 es un valor que depende de los grados de libertad por factor (2) para un total de 4 y un número de repeticiones que en este caso es 2. Esto evaluado a una probabilidad del 95 % da como resultado un F teórico =7.71 cumpliendo lo siguiente:

Ecuación 13. Factor teórico

$$FA > F_{a-1,ab(n-1),0.95}$$

Donde a y b son los grados de libertad para el factor A (2) y el factor B (2), y n es el número de repeticiones que para este caso es 2.

La variable F (factor de respuesta o teórico) es muy importante en este diseño de experimentos, debido a que mostró claramente cómo se comportan las variables tamaño de partícula y concentración de reactivo, para la recuperación de PVC de la lámina, para calcular el factor de respuesta fue necesario utilizar una serie de factores cuadráticos que no infieren en el comportamiento del porcentaje de recuperación de PVC pero si ayudan a analizar matemáticamente el comportamiento de las variables presentes en el proceso. Estos conjuntos de variables incluyen los datos altos y bajos de cada factor que da como resultado a F.

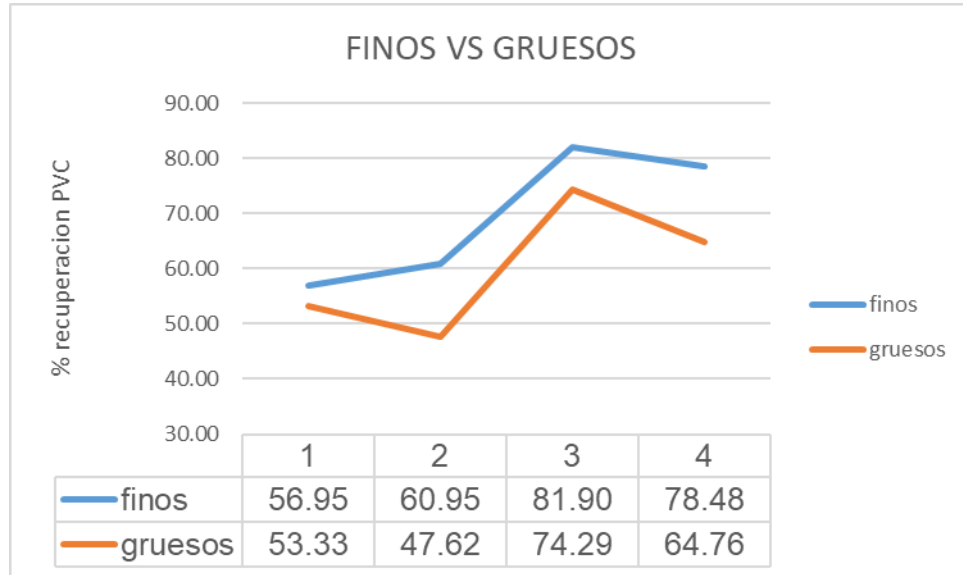
Para el análisis de los datos calculados con los teóricos, no es necesario conocer la diferencia que separa los valores, solamente es necesario saber si el valor de F calculado por factor es mayor o menor al teórico para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Teniendo en cuenta las generalidades expuestas en la hipótesis y de acuerdo a los datos de la Tabla del análisis de varianza, el factor A (tamaño de partícula) y el factor B afectan positivamente el porcentaje de recuperación de PVC, ya que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna, es decir, $FA > F$ teórico y $FB > F$ teórico. Por otro lado la interacción entre los dos factores no afecta el

⁴² Modelo De Diseños Factoriales Y Diseños 2^k. [EN LINEA]. [Citado en 28 de Mayo de 2018]. Disponible en internet: <<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Disenno/tema3DE.pdf>>

porcentaje de recuperación de PVC, debido a que el F teórico $> F$ interacción, aceptándose la hipótesis nula.⁴³

Gráfica 11. Finos Vs Gruesos

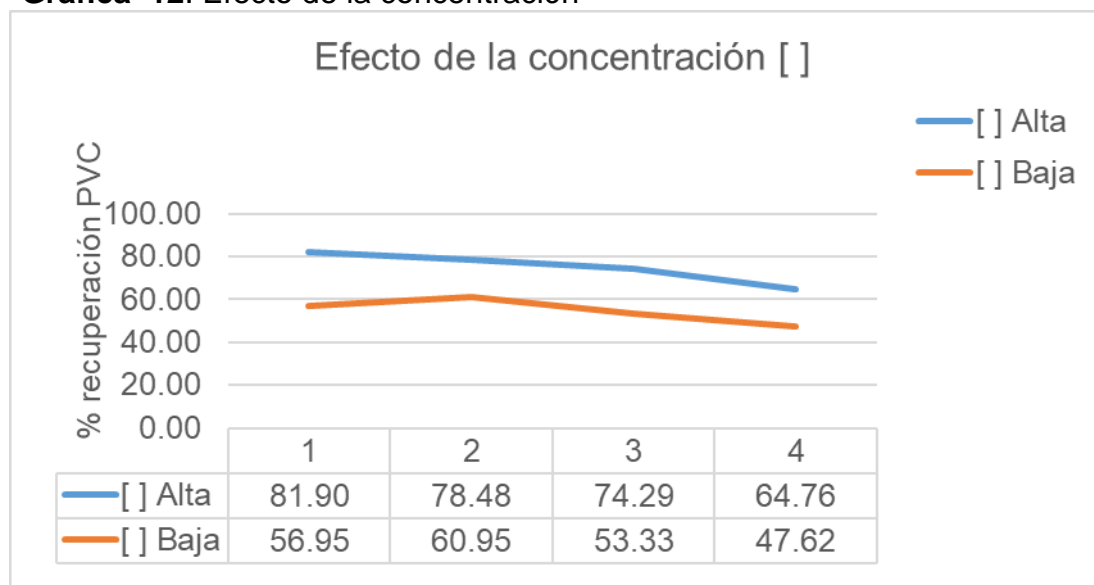


Fuente. Elaboración propia.

La Gráfica 11 representa el porcentaje de recuperación para tamaño de partícula fino y grueso, como conclusión se puede identificar que el tamaño de partícula fino puede llegar a una recuperación del 81.9 % de PVC con Nonil fenol 10 moles.

⁴³ Modelo De Diseños Factoriales Y Diseños 2^k. [EN LINEA]. [Citado en 28 de Mayo de 2018]. Disponible en internet: <<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Disenno/tema3DE.pdf>>p24

Gráfica 12. Efecto de la concentración



Fuente. Elaboración propia.

La Gráfica 12 representa el porcentaje de recuperación de PVC según el efecto de la concentración alta o baja. Como conclusión se puede identificar que la concentración de reactivo alta (28 mg/L) puede llegar a una recuperación del 81.9 % de PVC con Nonil fenol 10 moles, corroborando los valores expuestos en el artículo de Custodio Vásquez⁴⁴.

3.9 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta los dos procesos experimentales realizados con los reactivos Tensafor MV-P y Nonil fenol 10 moles, para la separación de la lámina PVC/poliéster, las variables involucradas (concentraciones de los reactivos y tamaño de partícula) en ambos experimentos afectan la variable de respuesta de forma independiente teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 17 y la Tabla 21 (análisis de varianza) para ambos compuestos; es decir ; tanto el tamaño de partícula como la concentración de reactivo afectan independientemente el porcentaje de recuperación de PVC , pero la interacción entre los dos factores no afecta la variable de respuesta.

⁴⁴ VASQUEZ, Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De Pvc Y Pet A Partir De Residuos Plásticos . [EN LINEA]. 2012. [Citado en 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <HTTP://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066>

Tabla 21. Comparación resultados Dp fino y grueso por reactivo
Nonil fenol **Tensafor MV-P**

Finos	Gruesos	Finos	Gruesos
56.95	53.33	81.90	59.049
60.95	47.61	72.38	60.95
81.90	74.28	99.04	68.57
78.47	64.76	97.14	78.09

Fuente. Elaboración propia.

Los datos obtenidos según la **Tabla 21** , el porcentaje de recuperación es mayor para el tamaño de partícula fino, debido a que se evidencia un porcentaje de recuperación de 99% para el Tensafor MV-P y de 81.9 % para el Nonil fenol 10 moles, éstos datos muestran que el comportamiento con el reactivo Tensafor MV-P tiene mejores resultados comparándolos con el Nonil fenol 10 moles , por tal razón se decide escoger el **Tensafor MV-P** como el mejor reactivo de flotación para la recuperación de PVC de la lámina (scrap). Para ver claramente la diferencia de recuperación de PVC con los dos reactivos de flotación antes mencionados se presenta la **Tabla 22**.

Tabla 22. Comparación % recuperación PVC Según su reactivo
 Porcentaje de recuperación PVC

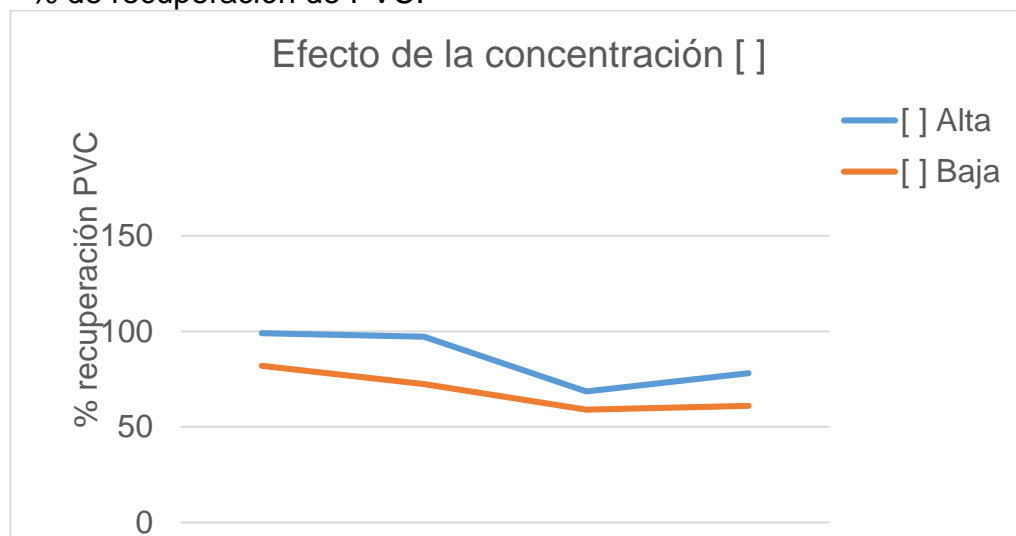
Prueba	Tensafor MV-P	Nonil fenol	% comparación
[0,0]	77.14	58.95	30.86
[0,1]	98.09	80.19	22.33
[1,0]	60	50.48	18.86
[1,1]	73.33	69.52	5.48

Fuente. Elaboración propia.

La **Tabla 22** representa un promedio de las réplicas de los resultados de recuperación de PVC para cada reactivo, se puede evidenciar claramente que el porcentaje de recuperación es mayor para el reactivo Tensafor MV-P en un 20% realizando una comparación promedio de los resultados obtenidos.

Por otro lado, ya teniendo el mejor reactivo de flotación basados en las condiciones anteriormente nombradas (Tabla 22), se procede a escoger la mejor concentración del reactivo Tensafor MV-P, para ello, se comparan los resultados obtenidos en la Gráfica 3 y Tabla 22, la cual muestra el comportamiento de las concentraciones según el porcentaje de recuperación de PVC.

Gráfica 13. Comportamiento de la concentración según su % de recuperación de PVC.



Fuente. Elaboración propia.

Considerando la Gráfica 13, se llega a la conclusión de que el Tensafor MV-P debe ser utilizado en el proceso de flotación en concentración alta, para este caso en particular para un volumen de solución de 2 litros, se debe utilizar a una concentración de 10 mg /L , acertando en el rango de concentraciones utilizada en el artículo de Somsak Saisinchai⁴⁵, en el cual la concentración efectiva esta entre 5mg/L y 10 mg/L . Para argumentar lo anterior, se muestra en la Tabla 23 la comparación de los resultados a concentración alta y baja y cómo afecta dicha concentración en el porcentaje de recuperación de PVC.

Tabla 23. % recuperación según concentración de Tensafor MV-P

Concentración	
Alta	Baja
99.04	81.90
97.14	72.38
68.57	59.04
78.09	60.95

Fuente. Elaboración propia

Considerando los porcentajes de recuperación para las dos practicas experimentales, se realizó una comparación cualitativa de los porcentajes de recuperación de PVC.

⁴⁵ SOMAAK, Saisinchai. Separación De Pvc De Pet Por El Uso De Flotación Con Lignosulfonato De Calcio. [ENGINEERING JOURNAL]. 2014. [Citado en 5 de 2018]. Disponible en internet: <www.ENGINEERING JOURNAL.com>

Imagen 11. Resultado recuperación PVC



Fuente. Elaboración propia

En la **Imagen 11** (izquierda Tensafor MV-P y derecha Nonil fenol 10 moles), se evidencia cualitativamente la existencia de una mayor recuperación para el reactivo Tensafor MV-P, esta imagen representa un porcentaje de recuperación de 99% para el Tensafor MV-P y de 81.9 % para el Nonil fenol 10, como se observa en la imagen se evidencia que la muestra de Nonil presenta mayor cantidad de media en la lámina, mientras que el Tensafor presenta menor cantidad de trazas de media poliéster. Afirmando de esta manera lo que se analizó con el análisis cuantitativo en el diseño de experimentos, el cual demostró que el mejor reactivo de flotación a utilizar es el **Tensafor MV-P**.

4. PROCESO DE FLOTACIÓN A ESCALA PILOTO

Después de obtener el resultado del diseño de experimentos, el reactivo apropiado, condiciones y variables para el proceso de flotación, se realizará un diseño conceptual para así aprovechar el residuo de PVC que queda después del proceso de flotación, para esto se plantea la propuesta de una línea de producción que garantice las características que debe tener este material para ser incorporado al proceso de inyección, este estudio de ingeniería será desarrollado en este capítulo. Por esta razón se elaborará un diseño conceptual, siguiendo la jerarquía de Douglas, que para este proyecto sería de un nivel 4.

Para la elaboración de este capítulo se realizarán las condiciones generales del proceso, capacidad de producción nominal y ubicación de los equipos en la planta.

4.1 CONDICIONES GENERALES DEL PROCESO

Es importante tener en cuenta que para realizar el proceso de incorporación del PVC recuperado con el proceso de flotación se deben considerar algunas condiciones generales como lo son:

- **Servicios.** La empresa debe contar con los servicios básicos de agua, esto para realizar el proceso de flotación debido a que la celda requiere de esta y energía eléctrica para poder alimentar las entradas eléctricas de los equipos que se involucran en el proceso de flotación.
- **Infraestructura.** Debido a que el Tensafor MV-P y el aceite de pino son compuestos no volátiles ni tóxicos⁴⁶, el procesamiento de estos se pueden hacer en un lugar cubierto y cerrado sin riesgo de intoxicación para las personas que estén en el ambiente de trabajo, un espacio cubierto es favorable porque protege el proceso de flotación de cualquier material externo contaminante que pueda afectar el reactivo de flotación.
- **Almacenamiento de materia prima.** El Tensafor MV-P es un compuesto altamente higroscópico⁴⁷ por esto debe mantenerse a temperatura ambiente, su almacenamiento se debe hacer en contenedores protegidos de la luz solar.

4.2 PROPUESTA PARA LA REINCORPORACIÓN DEL RESIDUO DE PVC

El residuo PVC/poliéster actualmente no es aprovechado al 100% ya que no existe en la compañía una metodología viable, eficiente y aprobada para retornarlo al proceso de fabricación. Por esta razón se propone la separación de este residuo por medio de la flotación. En el capítulo 3 se explicó que realizando este proceso se

⁴⁶ COLRESIN , S.A.. Ficha Técnica, Lignosulfonato De Calcio. [PFD]. [Citado en 10 de Mayo de 2018].

⁴⁷ Ibid.,p 1.

obtiene el 99% de recuperado de PVC, utilizando como reactivo de flotación Tensafor MV-P con un tamaño de partícula fino a una concentración de 10 mg/L.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE REINCORPORACIÓN DE PVC RECUPERADO

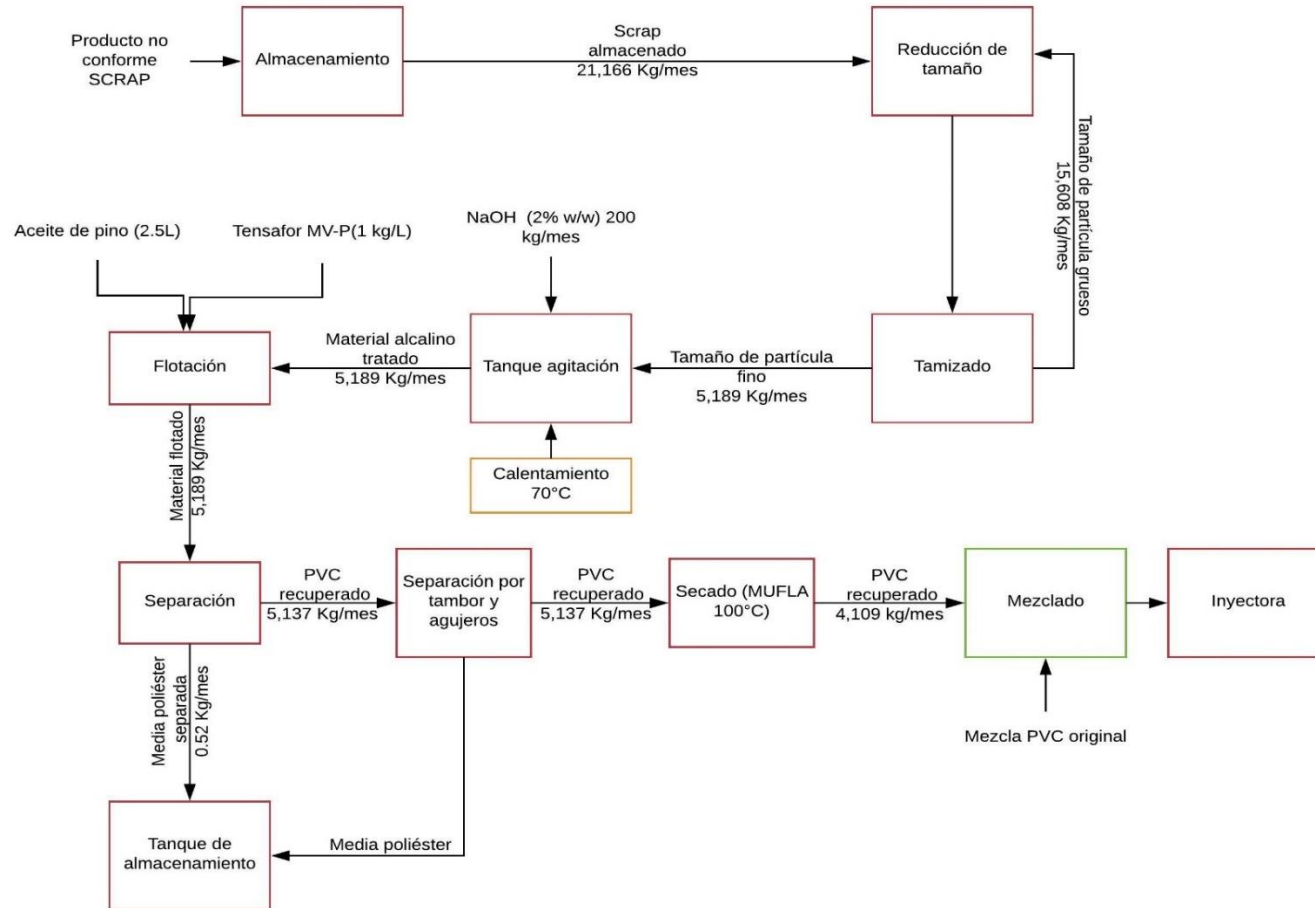
Actualmente Croydon Colombia S.A., utiliza como proceso de recirculación del scrap un molino de Vion, el cual homogeniza y lamina el material para luego triturarlo y convertirlo en alimento de la inyectora para la fabricación de bota negra.

El objetivo del proyecto es separar el PVC de la media de poliéster, para ello se hará una descripción de la reincorporación de este para obtener el residuo de PVC.

El scrap es alimentado a un molino el cual entrega como corriente de salida un tamaño de partícula de 4.75 mm, este tamaño no es el adecuado para realizar el proceso de flotación, como se evidencio en el capítulo 3, el tamaño de partícula adecuado para llevar a cabo este proceso es un tamaño de partícula fino de 2 a 4 mm, por lo que el tamaño de partícula mayor a 4.75 mm se recircula nuevamente al proceso para obtener tamaño de partícula fino

Después de tener el tamaño de partícula deseado este es sometido a un tratamiento alcalino para favorecer el ángulo de contacto entre el PVC y la media de poliéster, para ello se utilizaron 20 g de NaOH por cada litro de solución con una agitación de 800 rpm por un tiempo de 30 minutos. Después de transcurrido este tiempo de acondicionamiento se procedería a la preparación de la pulpa en donde se realiza el lavado de la pulpa, para retirar el NaOH y luego agregar la pulpa a la celda de flotación en la cual se usará un reactivo de flotación que es Tensafor MV-P a una concentración de 10 mg/L y un espumante que es el aceite de pino de este solo se agregan 10 gotas directamente a la celda de flotación. Finalmente se realizará la flotación, aquí primero se acondiciona la pulpa por 2 minutos para homogenizar los reactivos que se encuentran allí, después de esto se procede a la flotación por un tiempo de 9 minutos. Por último, se procede a secar el PVC que quedo sin media de poliéster en una estufa a 100°C. El Diagrama 7 (Diagrama de procesos), y 8 (digrama PFD), representan lo anteriormente dicho.

Diagrama 7. Flotación



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 24. Condiciones diagrama PFD

Número de corriente	Temperatura(°C)	Flujo (kg/mes)
1	18	21,166
2	18	5,189
3	18	15,608
4	80	5,189
5	18	5,189
6	18	500L
7	18	1Kg/L
8	18	5 L/mes
9	18	200
10	18	5,137
11	18	0.52
12	18	0.01
13	18	5,136
14	18	5,136
15	18	
16	18	

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 25. Conversiones Diagrama PFD

Convenciones de equipos	
TM-101	Tamizador
H-101	Calentador
AT-101	Tanque de agitación
CF-101	Celda de flotación
TK A-101	Tanque de agujeros
H-102	Calentador eléctrico (mufla) (100 °C)
IN-101	Inyectora de tornillo helicoidal

Fuente. Elaboración propia.

4.4 CONDICIONES DEL PROCESO

Para realizar el proceso de flotación se debe tener en cuenta la cantidad de materia prima inicial para realizar el dimensionamiento de los equipos. Para la operación de los equipos para realizar llevar a cabo el proceso de flotación se operarán los equipos de manera discontinua, debido a que el scrap solo se va a recuperar aproximadamente una vez al mes.

4.4.1 Cantidad de Scrap alimentado. Las 5 inyectoras con las que cuenta actualmente Croydon S.A, generan en un promedio de 21166,5 kg de scrap al mes, los cuales son homogenizados y laminados en el molino de Vion. Este dato proporciona el valor inicial para realizar el dimensionamiento de los equipos.

4.4.2 Capacidad de producción nominal. Aquí se darán a conocer la cantidad de materias primas necesarias para realizar el proceso de flotación, para ello se realizaron balances de masa y energía para determinar las condiciones de cada equipo para realizar el proceso de flotación.

4.4.3 Picadora. A este equipo deben ingresar 21.166,5 kg/mes de scrap, este valor se obtuvo del promedio del scrap de bota negra producida por las 5 inyectoras de Croydon Colombia S.A. en los meses de marzo, abril y mayo del año 2018, este proceso se realiza para facilitar la siguiente etapa que es el tamizado.

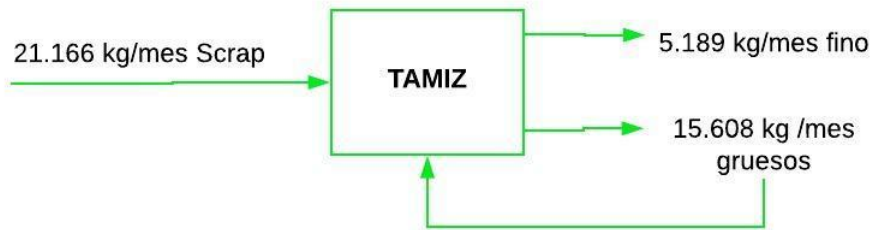
4.4.4 Tamiz. Aquí se realiza la clasificación del tamaño de partícula, como se mencionó en el capítulo 3 el tamaño adecuado es el fino, por lo que en esta etapa las mallas de interés serán las 5,6,8 y 10. De acuerdo al análisis granulométrico Tabla 25 que se realizó para los 21166,5 kg/mes de scrap alimentado, solo servirían 5.190 kg/mes de scrap y el restante se recircularía nuevamente al proceso hasta obtener el tamaño adecuado (ver **Diagrama 9**).

Tabla 26. Análisis granulométrico.

Malla	Dp(mm)	% Retenido en la malla	Peso (kg)	Dp
4	4.75	15608.82	15608.82	Gruesos
5	4	2391.25		
6	3.35	1379.57	5189.80	Fino
8	2.36	1195.62		
10	2	223.36		
12	1.7	65.69		
14	1	13.14	289.05	Colector
Colector		289.05		
Total			21166.5	

Fuente. Elaboración propia.

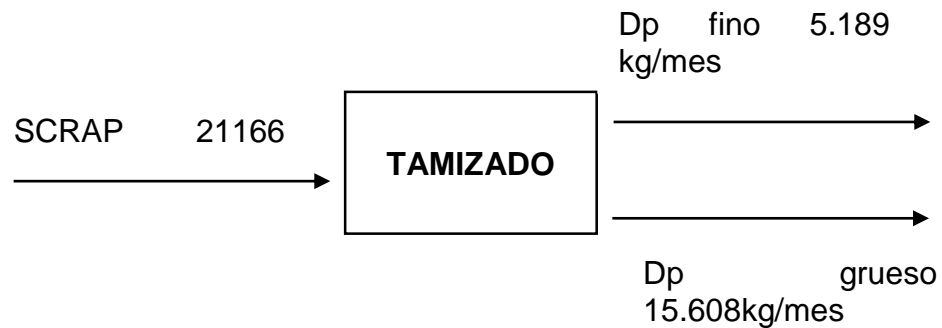
Diagrama 9. Alimentación Tamiz Zenit



Fuente. Elaboración propia.

4.4.5 Balance de energía para el Tamiz. Al ser el tamiz un sistema donde no hay un cambio de temperatura, el balance de energía se realizó con respecto a la potencia nominal del equipo y el tiempo de trabajo del equipo que son 10 minutos. Por esta razón se planteó la **Ecuación 14** en donde se representa dicho balance. Para este equipo se desprecian la energía potencial, cinética e interna.

Diagrama 10. Balance de energía tamiz



Ecuación 14. Balance de energía tamiz.

$$Q - W = \Delta U + \Delta P + \Delta K$$

$$Q = W = 7 \frac{kJ}{s} * 10 \text{ minutos} * \frac{60 s}{1 \text{ minuto}}$$

$$Q = 4200 \text{ kJ}$$

La energía necesaria para que el tamizador trabaje es **4200 kJ**.

4.4.6 Tanque de agitación. En esta etapa se realizará el tratamiento alcalino del scrap con NaOH, por un tiempo de 30 minutos a 800 rpm, a una temperatura de 70°C. En la Tabla 27 se especifican las cantidades de materia prima para esta etapa.

Tabla 27. Alimentación del tanque

Materia prima	Cantidad
Scrap	5,189 kg/mes
NaOH	200 kg/L

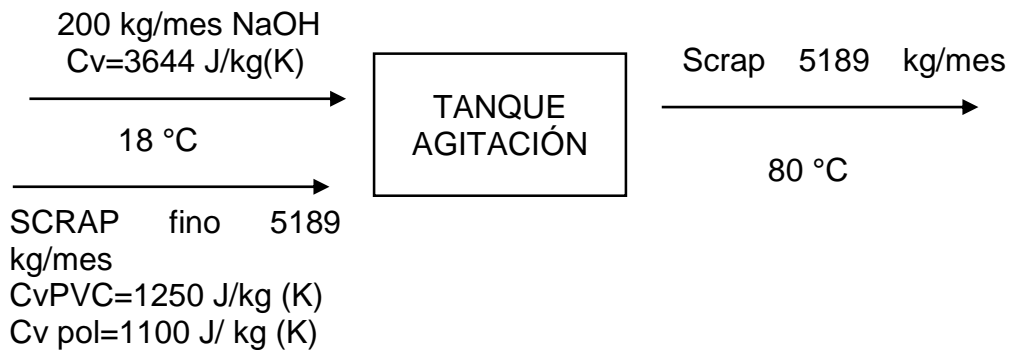
Fuente. Elaboración propia.

Diagrama 11. Alimentación para tanque de agitación



Fuente. Elaboración propia.

4.4.7 Balance de energía para el tanque de agitación. Para realizar el balance de energía en este equipo se tuvo en cuenta que es un sistema cerrado donde hay un cambio de temperatura, por lo cual se enunció la Ecuación 15 en donde se plantea el balance de energía para este sistema⁴⁸. Se encontró que en este equipo la energía potencial y cinética se desprecian, por lo cual surge la Ecuación 17, pero para determinar la energía interna se desarrolló la Ecuación 16 para obtener el calor necesario para operar el equipo



⁴⁸ CENGEL, Yunus. y BOLES, Michael. Termodinámica. Carlos Cordero. 5 ed. Mexico.:Universidad De La Salle, 2006. 53 p.

Ecuación 15. Primera ley de la termodinámica para sistema cerrado

$$Q + W = \Delta U + \Delta P + \Delta K$$

$$Q = \Delta U - W$$

Ecuación 16. Energía interna de sólidos y líquidos

$$\Delta U = \int_{T_0}^{T_1} C_v * dT$$

$$\Delta U = 5189 \frac{kg}{lote} * \left(\int_{18}^{80} C_{v_{PVC}} * dT + \int_{18}^{80} C_{v_{pol}} * dT \right) + 200 \frac{kg}{mes} * \int_{18}^{80} C_{v_{NaOH}} * dT =$$

$$801222.9 \frac{kJ}{lote}$$

Ecuación 17. Trabajo de tanque de agitación

$$W = 7.5 \frac{kJ}{s} * \frac{60s}{1 \text{ minuto}} = 450 \frac{kJ}{minuto} * 30 \text{ minutos} = 13500 \text{ kJ}$$

Ecuación 18. Despeje ecuación 5

$$Q = \Delta U - W = \left(801222.9 \frac{kJ}{lote} - 13500 kJ \right) = 787722.9 kJ$$

$$Q = 787722.9 kJ$$

La energía necesaria para operar el tanque de agitación conociendo el cambio de temperatura es de **787722.9 kJ**.

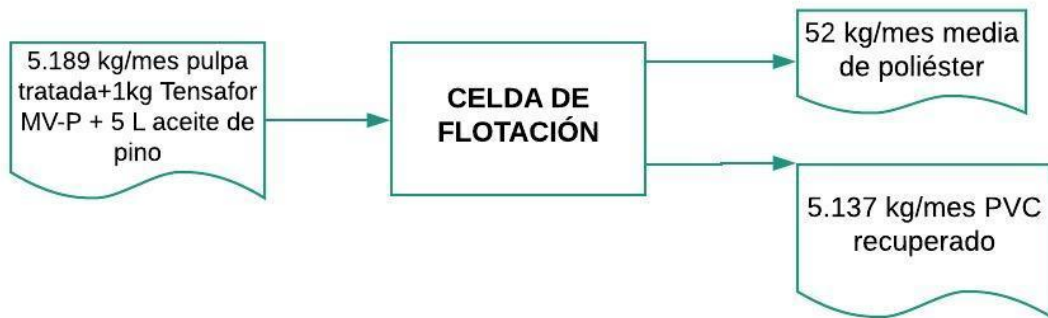
4.4.8 Celda de flotación. A este equipo ingresaran 5.189 kg/mes de pulpa ya tratada con el NaOH, además del reactivo de flotación Tensafor MV-P y el espumante aceite de pino en las siguientes cantidades ver **Tabla 28**. En el capítulo 3 se mencionó que con el uso del Tensafor MV-P, el porcentaje de recuperación de PVC será del 99%, ver **Diagrama 11**.

Tabla 28. Alimentación celda de flotación

Materia prima	Cantidad
Scrap	5,189 kg/mes
Tensafor MV-P	1kg/L
Aceite de pino	5 L

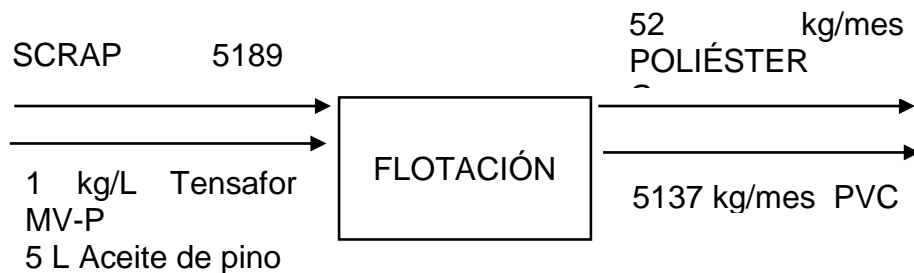
Fuente. Elaboración propia.

Diagrama 12. Alimentación Celda de flotación BF-10.



Fuente. Elaboración propia.

4.4.9 Balance de energía para el Tamiz. Al ser la flotación un sistema donde no hay un cambio de temperatura, el balance de energía se realizó con respecto a la potencia nominal del equipo y el tiempo de trabajo de la celda 10 minutos, por esta razón se desprecian la energía potencial, cinética e interna.



$$Q - W = \Delta U + \Delta P + \Delta K$$

$$Q = W = 30 \frac{kJ}{s} * 10 \text{ minutos} * \frac{60 s}{1 \text{ minuto}}$$

$$Q = 18000 \text{ kJ}$$

La energía necesaria para operar el equipo de flotación es de **18000 KJ**.

4.4.10 Equipo de tambor y agujeros. Al ser el equipo de tambor y agujeros un sistema donde no hay un cambio de temperatura, el balance de energía se realiza con respecto a la potencia nominal del equipo y el tiempo de trabajo de la celda es 30 minutos. Es decir se desprecian la energía potencial, cinética e interna.

$$Q - W = \Delta U + \Delta P + \Delta K$$

$$Q = W = 4.75 \frac{kJ}{s} * 30 \text{ minutos} * \frac{60 s}{1 \text{ minuto}}$$

$$Q = 8550 \text{ kJ}$$

4.4.11 Horno de secado. A este equipo ingresaran 5,189 kg/mes de pulpa flotada, este proceso se realiza con el fin de retirar la mayor cantidad de humedad como se evidencia en la Tabla 29.

Tabla 29. Porcentaje peso mojado en el PVC recuperado.

Ensayo	Tamaño de partícula	Concentración mg/L	Peso seco (g)	Peso mojado (g)	%peso mojado
1	Fino	10	142.6	175.32	18.66
2			139.8	176.14	20.63
3	Fino	28	144	174.56	17.51
4			142.48	173.45	17.86
5	Grueso	10	137.5	177.86	22.69
6			139.5	173.72	19.70
7	Grueso	28	143.69	174.61	17.71
8			132.6	176.26	24.77

Fuente. Elaboración propia.

La Tabla 29 muestra los resultados por prueba de flotación realizando una comparación entre el peso mojado y el peso seco del PVC recuperado, después de 60 minutos de secado en la mufla y se llegó a la conclusión que en la mufla se remueve un 20 % de la cantidad de scrap flotado entrante en este proceso.

Al ser el horno de secado un sistema no adiabático, el balance de energía se realiza con respecto a la potencia nominal del equipo y el tiempo de trabajo del horno (60 minutos), es decir se desprecian la energía potencial, cinética e interna.



$$Q = W = 15 \frac{kJ}{s} * 50 \text{ minutos} * \frac{60 s}{1 \text{ minuto}}$$

$$Q = 45000 \text{ kJ}$$

4.5 SELECCIÓN DE EQUIPOS

Para la puesta en marcha del proceso de flotación se necesita de una serie de equipos con los que Croydon Colombia S.A. no cuenta actualmente.

Las especificaciones de los equipos a implementar son datos comerciales los cuales serían los siguientes

4.5.1 Tamizador Zenit. Este representa el primer equipo a implementar para el aprovechamiento de la lámina de PVC/poliéster. El criterio de selección de este equipo se basa en que garantiza que el tamaño de partícula de la lámina sea de 2 a 4 mm, para facilitar el proceso de flotación, ya que cuenta con las mallas 5,6,8 y 10. Este tamizador es de una estructura confiable, fuerza de vibración fuerte, y cuenta con una alta eficiencia de tamizado, bajo nivel de ruido, durable y de fácil mantenimiento. Además, cuenta con la capacidad y dimensiones que se requieren para este diseño. En el Cuadro 2 se muestran las especificaciones del tamizador Zenit.

Cuadro 2. Tamizador Zenit

	
Costo	USD 4000
Capacidad	23 toneladas
Potencia requerida	7 KW
Dimensiones	4x2.25x2.66 m

Fuente. Elaboración propia.

4.5.2 Tanque de agitación: Este sería el segundo equipo en la etapa de flotación, aquí se realiza el tratamiento alcalino de la lámina y la agitación con el fin de favorecer la separación entre el PVC y la media de poliéster. Para la selección de este equipo se tuvo en cuenta que el equipo debe ser resistente a la corrosión, porque en el tratamiento alcalino se utiliza NaOH, esta debe ser calentada a una temperatura de 70°C y este equipo nos garantiza esto, ya que cuenta con un calentador tipo brida, el cual proporciona la temperatura adecuada para realizar el

tratamiento alcalino. Por esta razón se seleccionó este tanque ver Cuadro 3, el cual se usa principalmente en agitación de mezclas antes de la flotación, además proporciona las RPM adecuadas para la agitación de la pulpa.

Cuadro 3. Tanque de agitación

	
Costo	USD 4000
Capacidad	10 m3
Potencia requerida	7.5 KW
RPM	600-1000

Fuente. Elaboración propia.

4.5.3 Celda de flotación BF-10. Es el equipo de mayor importancia en el proceso de flotación, sin esta la separación entre el PVC y el poliéster no sería posible. Gracias a su aeración diferencial y a las burbujas que se crean en la celda, el poliéster es removido del PVC, quedando así el material de interés que es el residuo de PVC. Para la selección de este equipo se tuvo en cuenta que tiene una gran capacidad de absorción de aire y bajo consumo de energía, esta celda posee tres funciones: absorción de aire, absorción de lodos en este caso absorbe la media que es el residuo y separación de flotación. Este cuenta con un dispositivo de autocontrol en la superficie del lodo, así que es fácil ajustarlo. El impulsor tiene agujeros arriba inclinados y bajos, que producen la circulación superior y baja de los residuos respectivamente. El Cuadro 4 representa las características de la celda de flotación.

Cuadro 4. Celda de flotación BF-10



Costo	USD 8000
Capacidad	10 metros cubicos
Potencia requerida	30 KW
Dimensiones	5x 3 m

Fuente. Elaboración propia.

4.5.4 Equipo de tambor y agujeros. Este equipo permite por medio de la fricción terminar de remover las trazas de media que aún quedan en el residuo de PVC. Esto es debido a que algunas de motas ya removidas se vuelven a adherir al PVC al momento de retirarlo de la celda de flotación. Se escogió este equipo por la capacidad de almacenamiento y por sus dimensiones que se mencionan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Equipo de tambor y agujeros



Costo	USD 400
Capacidad	10.000 kg/h
Potencia	4.75 KW
Dimensiones	2x1.3m

Fuente. Elaboración propia.

4.5.5 Horno de secado. Es el último equipo en el proceso de flotación, aquí se remueve la humedad causada por la celda de flotación, si esta humedad no es removida el PVC recuperado no podría ser reincorporado al proceso, para poderlo mezclar con los pellets nuevos de PVC. En este caso se seleccionó este horno ver Cuadro 6, por las siguientes características:

- La mayor parte del aire caliente se distribuye en la cámara que garantiza una alta eficiencia de calefacción y ahorra energía.
- La máquina es de bajo ruido, funcionamiento suave, temperatura auto controlada y fácil mantenimiento.
- Adecuado para materiales versátiles y es la máquina de secado universal.

Cuadro 6. Horno de secado



Costo	USD 3000
Potencia requerida	15 KW
Dimensiones	2.3x1.2x2 m

Fuente. Elaboración propia.

4.6 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

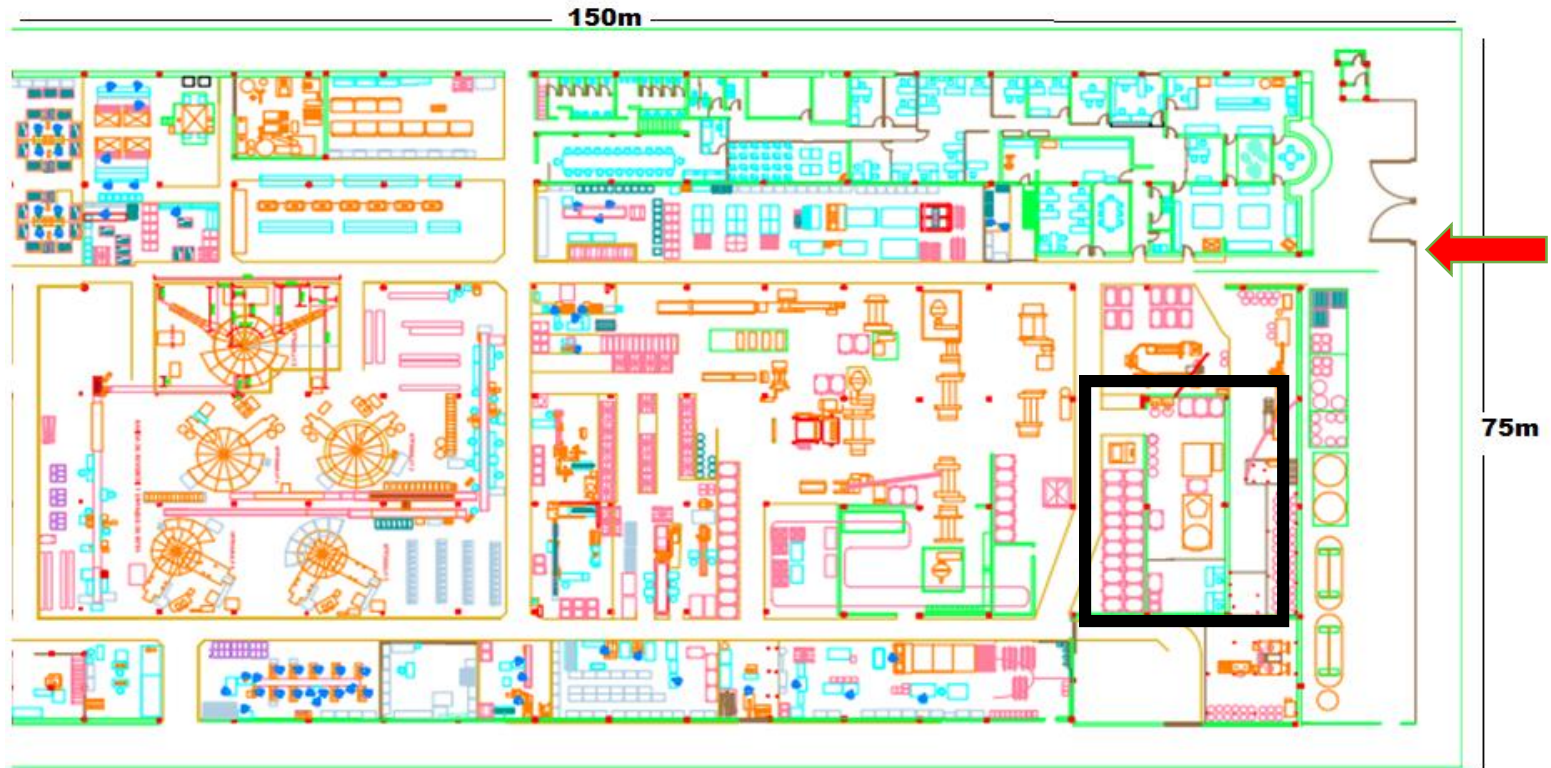
El plano 1 representa la planta de PVC de la empresa Croydon Colombia S.A., donde se lleva a cabo el proceso de producción de bota de PVC, en el cual se puede identificar la ubicación del cuarto de recuperación y las operaciones unitarias más importantes del proceso.

Se escogió como lugar el cuarto de recuperación de materiales para poner en función los equipos por las siguientes razones:

- El cuarto de recuperación de materiales pertenece al departamento técnico de la empresa, que a su vez es responsable de los residuos generados en los procesos de producción, para este caso scrap, es allí donde se almacena, por lo cual no es necesario destinar otro espacio para esta operación; su infraestructura garantiza que este material no está expuesto a agentes contaminantes.

- Área disponible para la implementación de nuevos equipos: En este cuarto de recuperación se encuentra el equipo pulverizador Condux, el cual dejó de estar en servicio para la compañía desde hace 2 años, por esta razón este equipo será retirado para dar el espacio a los equipos del proceso de flotación.

Plano 1. Planta de PVC

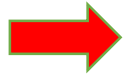


Fuente. Croydon Colombia S.A.

Convenciones:



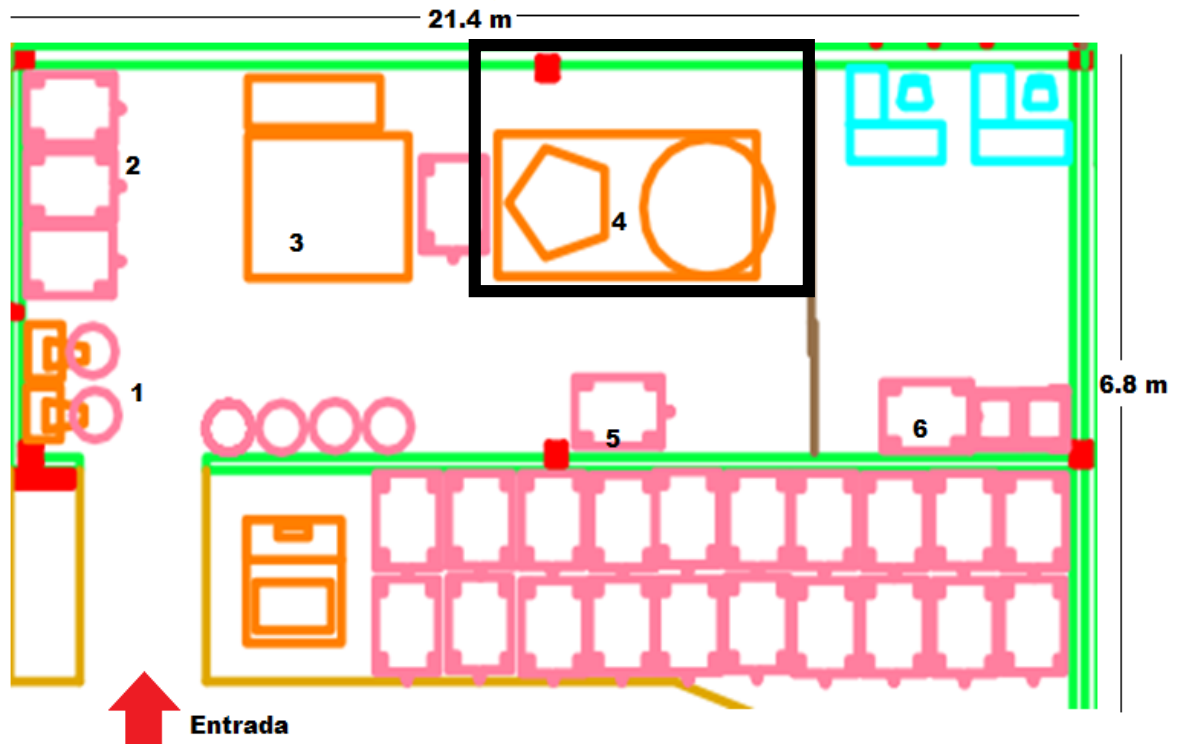
Este recuadro representa el cuarto de recuperación en el cual se pondrán los equipos para llevar a cabo esta propuesta.



Esta flecha indica la entrada principal a la planta de PVC.

4.6.1 Cuarto de recuperación de materiales. En este sector se ubicarán los equipos del proceso de flotación, retirando del allí el pulverizador Condux para dar lugar a los demás equipos. El plano 2 representa este cuarto, con la respectiva especificación (Tabla 29) de los equipos allí presentes

Plano 2. Cuarto de recuperación de materiales.



Fuente. Croydon Colombia S.A.


 En este recuadro se implementarán los equipos para el proceso de flotación.

Tabla 30. Especificaciones plano 2

Convención	Equipo
1	Picadoras PVC color
2	Área de trabajo
3	Picadora PVC negro
4	Pulverizador Condux
5	Área de almacenamiento
6	Mesa de trabajo

Fuente. Elaboración propia.

5. EVALUACIÓN FINANCIERA

Para este capítulo se realizó un análisis de proceso de producción de botas de PVC en CROYDON COLOMBIA S.A, con el fin indagar a cerca de toda la información financiera para el proceso de producción de botas de PVC, el estudio financiero de este proyecto muestra información sobre el costo de manufactura, costos de inversión referentes en la unidad monetario colombiana (COP), en un horizonte de tiempo de 5 años, con el fin de estimar si en ese tiempo futuro la inversión se recuperara y generara ganancias a la compañía ,usando la metodología financiera comprendida por el indicador el valor presente neto (VPN).

Para este análisis se tienen en cuenta los siguientes supuestos.

- Tasa representativa del mercado (TRM), 2851.52 COL \$/USD, del día 23 de Mayo de 2018.⁴⁹
- Valores del índice de precios al consumidor (IPC) de 3.13 % que mide la evolución del costo promedio de una canasta de bienes y servicios representativa del consumo final de los hogares, expresado en relación con un período base. La variación porcentual del IPC entre dos periodos de tiempo representa la inflación observada en dicho lapso. El cálculo del IPC para Colombia se hace mensualmente en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).⁵⁰

5.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE LA INVERSIÓN ASIGNADA EN LA PROPUESTA

El costo de inversión sólo se tendrá en cuenta para la propuesta de aprovechamiento del residuo PVC, esto debido a que el proyecto estará enfocado en tratar el material recuperado de la referencia Macha (bota negra). Se manejarán los costos de los equipos antes de incorporar el PVC recuperado a la inyectora. En la Tabla 31 se muestran los equipos necesarios para la implementación de la propuesta.

⁴⁹ Tasa Representativa de Mercado. [EN LINEA]. 2018. [Citado en 23 de Mayo de 2018]. Disponible en internet: <[HTTPS://WWW.DOLAR-COLOMBIA.COM/](https://www.dolar-colombia.com/)>

⁵⁰ Banco De La Republica. [EN LINEA]. Ipc. 2018. [Citado en 02 de Junio de 2018]. Disponible en internet: <<http://www.banrep.gov.co/es/ipc>>

Tabla 31. Equipos y reactivos necesarios para la propuesta

Maquinaria	Costo	COP
Celda de flotación BF-10	USD 8000	\$ 22,812,160.00
Tamizador Zenit	USD 4000	\$ 11,406,080.00
Tanque de Agitación	USD 5000	\$ 14,257,600.00
Tambor de agujeros	USD 400	\$ 1,140,608.00
Horno de secado	USD 3000	\$ 8,554,560.00
Tensafor MV-P	\$2.000	\$ 2000
Aceite de pino	\$45.500	\$500.000
NaOH	\$6000	\$1.200.000

Fuente. Elaboración propia.

El costo total de inversión calculado es de \$ 59, 871,508 (COP), en esta inversión se encuentran incluidos los costos de mano de obra, de los 4 operarios necesarios para llevar a cabo el proceso de aprovechamiento del residuo de PVC.

5.2 ANÁLISIS COSTOS DE OPERACIÓN

La inversión del proceso de la propuesta de mejora fue de \$40.000.000, lo cual incluye el precio neto de las picadoras (3), y el molino de VION, al descontar la depreciación de los equipos para este año, la inversión con proyecto es la inversión sin proyecto sumada con la inversión que debería hacer la empresa para implementar esta propuesta, lo que da un total de \$ 99.872.508. Ver Tabla 32.

Tabla 32. Inversión asignada al proceso de recuperación de PVC

Concepto	Sin proyecto	Con proyecto	Diferencia
Propiedad, planta y equipos	\$40.000.000	99.872.508	59.872.508

Fuente. Elaboración propia.

5.3 ESTIMACIÓN COSTOS DEL PROCESO ACTUAL DE RECUPERACIÓN DE PVC

Actualmente se está manejando una serie de procesos para la recuperación del Scrap de la bota negra (macha) en CROYDON COLOMBIA S.A, entre estos se encuentra el picado y la mezcla por molino de VION, que deja una gran cantidad de trazas de residuo como lo es la media poliéster.

Para la recuperación de PVC se están manejando tres costos variables: costo del material, en donde se considera el uso del pigmento negro y plastificantes usados para homogeneizar el material a recuperar, el costo de la mano de obra, costos indirectos de fabricación, que tienen en cuenta lo que la empresa necesita adicionalmente para llevar a cabo el proceso en el molino de Vion como sueldos de jefe de planta , supervisores, personal administrativo , papelería, energía de la fábrica, entre otros .⁵¹ Ver Tabla 33.

Tabla 33. Costos variables por recuperación de Sacras

Costos variables	2018	2019	2020
Costos de material (COP /Kg)	\$ 207	\$ 217	\$ 228
Costos labor (COP/kg)	\$ 152	\$ 160	\$ 168
Costos indirectos de fabricación (COP /kg)	\$ 400	\$ 420	\$ 441
Total costos	\$ 759	\$ 797	\$ 837

Fuente. Elaboración propia.

Para realizar la comparación de los costos, se llevará a cabo dos proyectos financieros, el primero sin proyecto (proceso actual), y el segundo con proyecto (propuesta de recuperación), tomando como referencia los costos del año 2018.

Con el objetivo de realizar la proyección de los costos totales año a año, se asume un comportamiento del 5% de crecimiento anual en los costos variables para la elaboración de PVC.

5.4 COSTOS SIN PROYECTO

Para determinar los costos totales en la transformación del scrap actualmente, se utiliza la Ecuación 19, la cual relaciona los costos totales mostrados en la Tabla 33 y la cantidad de scrap generada en kg.

Ecuación 19. Costos totales de procesamiento de sacras

Costos totales = cantidad scrap * costos variables

Para determinar el porcentaje de scrap recuperado y el costo de procesamiento se utilizaron las siguientes ecuaciones:

⁵¹ CASTRO, Jaime. y PLAZAS , Erika. Desarrollo De Una Propuesta De Mejora En El Proceso De Recuperación De Material No Conforme En La Producción De Botas De Pvc Para La Empresa Croydon Colombia S.a.. Bogotá D.c .: Fundación Universidad De América. 2017. 111p.

Ecuación 20. Porcentaje de Scrap recuperado

$$\% \text{ scrap recuperado} = \frac{\text{kg scrap}}{\text{kg scrap recuperado a mezcla pura}} * (100)$$

Ecuación 21. Costo de procesamiento de Scrap del año 2018

$$\text{procesamiento} = (\text{kg scrap recuperado a mezcla pura}) * (\text{costo fijo})$$

El costo fijo se refiere al precio total para recuperar Scrap para el año 2018.

La recuperación actual que realiza CROYDON COLOMBIA S.A del Scrap generado, varia con respecto a la cantidad de producción mes a mes, para analizar el porcentaje de recuperación que actualmente maneja CROYDON COLOMBIA S.A se tomaron datos de los anteriores 3 meses (**Tabla 34**). Debido a que son los datos que actualmente se tienen para el año lectivo 2018.

Tabla 34. Scrap generado y recuperado

Concepto	Febrero	Marzo	Abril
Scrap(kg)	3823	2386	4525
Recuperado a mezcla pura (kg)	2766	1380	2631
% recuperación	72.35155637	57.83738	58.14365

Fuente. Elaboración propia.

La recuperación promedio entre esos 3 meses es del 62% del lote de scrap generado, la producción es programada con el fin de satisfacer las necesidades de demanda mes a mes. Con el fin de determinar los costos de operación con y sin proyecto, se escogieron 3 lotes diferentes; el primero es un lote de 44.543 pares de bota negra correspondientes al mes de marzo de 2018, con un total de scrap de 2.821 unidades de bota con media, que representan 2.386 kg. El segundo es un lote de 35.032 pares de bota negra correspondientes al mes de febrero de 2018, con un total de scrap de 4.381 unidades de bota con media, que representan 2.766 kg. Por último, el tercer lote es un lote de 90.683 pares de bota negra correspondientes al mes de Abril de 2018, con un total de scrap de 2.973 unidades de bota con media, que representan 4.585 kg. Ver Tabla 35. El porcentaje de scrap recuperado y el costo de procesamiento se determinaron con la Ecuación 31 y 14 respectivamente.

Tabla 35. Scrap recuperado y costo de procesamiento.

Mes	Cantidad de scrap (kg)	Cantidad de scrap con media recuperada (kg)	Porcentaje scrap recuperado	Costo procesamiento COP
Febrero	3823	2766	72.35	\$ 2,099,394
Marzo	2386	1380	57.83	\$ 1,047,420
Abril	4525	2631	58.14	\$ 1,996,929

Fuente. Elaboración propia.

5.4.1 Costos con proyecto. Para determinar los costos de procesamiento con proyecto se plantea la misma metodología que la Ecuación 12, exponiendo los mismos lotes correspondientes al año 2018, estos costos de mantenimiento se harán para la recuperación de un 99% de scrap como se muestra en la Tabla 33.

Tabla 36. Costos de recuperación de Scrap con proyecto

Mes	Cantidad de scrap (kg)	Cantidad scrap con media recuperada (kg)	Porcentaje scrap recuperado	Costo procesamiento (COP)
Febrero	3823	3784.77	99	\$ 2,872,640
Marzo	2386	2362.14	99	\$ 1,792,864
Abril	4525	4479.75	99	\$ 3,400,130

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla anterior, es evidente el incremento del precio de procesamiento del scrap con respecto a la tabla 35, pero se estaría recuperando el 99 % del scrap generado en el proceso, evitando pérdida de material e incrementando en un 37% la producción de botas de PVC.

5.5 FLUJO DE CAJA

Para determinar cómo esta recuperación ve favorecido la producción de botas de PVC, se determinó el costo por par de botas como ingresos netos para evaluar cómo influye sobre el flujo de efectivo de la empresa para los próximos 5 años. A continuación, la Tabla 34 reporta las proyecciones del costo por unidad, valor por medio del cual se calculan los ingresos netos (anexo C) al multiplicar la proyección de la demanda anual supuesta (3.13 % IPC) por la proyección del costo de cada par de botas.

Tabla 37. Proyección del costo por par de botas

Año	2018	2019	2020	2021	2022
Costo por par de botas	\$ 18,542	\$ 19,122	\$ 19,721	\$ 20,338	\$ 20,975

Fuente. Elaboración propia.

5.5.1 Flujo de efectivo: Para una recuperación del 99% de scrap, que representa un aumento del 37 % de la recuperación de PVC., en la Tabla 38 se muestra el flujo de efectivo solamente del 37% de la producción anual. Con el fin de calcular la viabilidad del proyecto por medio del VPN.

Tabla 38. Flujo de caja.

FLUJO DE CAJA	0	1	2	3	4	5
Ingresos netos	\$ 645,946,000	\$ 687,015,046	\$ 730,695,250	\$ 777,152,628	\$ 826,563,751	
Total ingresos netos	\$ 0	\$ 645,946,000	\$ 687,015,046	\$ 730,695,250	\$ 777,152,628	\$ 826,563,751
Costos de inversión	\$ 99,872,508					
Gastos financieros	\$ 9,987,251	\$ 8,351,364	\$ 6,551,889	\$ 4,572,466	\$ 2,395,101	
Gastos por depreciación	\$ 9,987,251	\$ 9,987,251	\$ 9,987,251	\$ 9,987,251	\$ 9,987,251	
Gasto por impuesto de renta (33 %)	\$ 206,570,594	\$ 220,663,222	\$ 235,671,516	\$ 251,655,660	\$ 268,679,862	
Abono a capital	\$ 16,358,865	\$ 17,994,752	\$ 19,794,227	\$ 21,773,650	\$ 23,951,015	
Total costos	\$ 99,872,508	\$ 232,916,710	\$ 247,009,338	\$ 262,017,632	\$ 278,001,776	\$ 295,025,978
FLUJO DE CAJA NETO	-\$ 99,872,508	\$ 413,029,290	\$ 440,005,708	\$ 468,677,618	\$ 499,150,851	\$ 531,537,773

Fuente. Elaboración propia.

VPN = \$ **1,762,216,569**

El proyecto logra aprovechar el 99% del scrap generado en el proceso de producción de botas de PVC al aumentar la cantidad de PVC recuperado 37% que se llevara a la inyectora con la mezcla original de PVC, todo esto sin cambiar las propiedades mecánicas y químicas de las mismas, lo que equivale a un ahorro en los costos de materia prima, sin contar la disminución de desperdicio teniendo en cuenta que el scrap es en la empresa para lograr disminuir su impacto ambiental y además el proceso se vuelve competitivo al tratar y reincorporar sus propios desperdicios lo que pone a la empresa en una posición de innovación con respecto a estos procesos ambientalmente amigables. De acuerdo al indicador resultante del proceso de evaluación financiera, se puede determinar que, bajo estas condiciones, y teniendo en cuenta los supuestos establecidos, el proyecto es viable debido a que el indicador VPN es mayor a cero.

6. CONCLUSIONES

- Para elegir un adecuado solvente de flotación se encontró que es mejor utilizar un colector y no un espumante, debido a que el colector permite que las partículas aerófilas se adhieran a las burbujas y suban a la superficie; las burbujas en este caso son creadas tanto por el colector (Tensafor MV- P) como por el espumante (Aceite de Pino). Por otro lado, si se utiliza solo el espumante, en este caso Nonil fenol 10 moles, no habrá la creación suficiente de las burbujas para una adecuada separación del residuo PVC poliéster.
- Se evaluaron las condiciones a nivel laboratorio mediante un diseño de experimentos factorial 2^2 , en el cual se estimó el comportamiento de la variable dependiente (porcentaje de recuperación de PVC), mediante el cambio de las variables independientes (tamaño de partícula y concentración de reactivo) en sus niveles alto y bajo. Este comportamiento se determinó mediante un análisis de varianza, el cual mostró los factores de respuesta para cada variable independiente. Este análisis determinó que el reactivo adecuado de flotación es el Tensafor MV-P, con una concentración de 10 mg/L (alta) y un tamaño de partícula entre 2 y 4 mm (fino).
- En el ANOVA se analizó cómo afecta la interacción de las variables independientes sobre el factor de respuesta F y se encontró que el tamaño de partícula y la concentración del reactivo favorecen la recuperación de PVC de manera independiente, mientras que las interacciones entre esas dos variables no favorecieron la recuperación de PVC en el proceso.
- Durante el diseño conceptual del proceso de flotación se definieron los siguientes equipos para cada una de las operaciones unitarias: Tamizador Zenit, Tanque de agitación, Celda de flotación BF-10, Equipo de tambor y agujeros y un Horno de secado. Posterior al estudio de ubicación en planta se determinó que estos equipos pueden ser instalados en el Cuarto de Recuperación de Materiales.
- La implementación de la propuesta de flotación para la separación de la lámina PVC poliéster, es viable debido a que el factor financiero VPN (valor presente neto) es positivo. También se logró determinar que esta propuesta traerá una mejora en el proceso de recuperación de PVC, debido a que se incrementaría la recuperación del material en un 37%.

7. RECOMENDACIONES

- Debido a la falta de información sobre el uso del NaOH como reactivo para el tratamiento alcalino del scrap, se recomienda una investigación con respecto al uso de este en el tratamiento alcalino.
- Se recomienda ampliar la información acerca del tamaño adecuado de la burbuja en el momento de la flotación y los rangos del flujo de aire en la celda de flotación.
- El tamaño de partícula en este proyecto fue una variable que no se pudo analizar minuciosamente en el diseño conceptual, por tal motivo se recomienda fraccionar con más exactitud los rangos que se dividieron en este documento por medio de cálculos rigurosos.
- En dado caso que se decida realizar un proyecto tomando como referencia esta propuesta, se recomienda analizar más variables dependientes para el diseño factorial, tales como: Tiempo de flotación, temperatura, pH, tiempo de agitación y RPM.
- Se recomienda evaluar los costos de producción al incorporar el PVC recuperado al proceso.
- Este proyecto solo evaluó la posibilidad de reincorporar la bota negra al proceso, pero no evaluó las demás referencias con las que cuenta la compañía, para este caso las más relevantes, bota amarilla (Workman) y bota blanca (food industry).
- Se recomienda utilizar una relación de diseño con el fin de dimensionar adecuadamente los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

Banco De La Republica. [EN LINEA]. Ipc. 2018. [Citado en 02 de junio de 2018]. Disponible en internet: <<http://www.banrep.gov.co/es/ipc>>

BARROS, Jose Luis. Pasos para realizar el anteproyecto [en línea]. <<http://es.slideshare.net/vale2310/pasos-para-elaborar-anteproyecto>> [Citado el 4 octubre de 2017]

Carrillo Claudio, Verdejo Tomas, Pérez German. Universidad católica de Valparaíso, Facultad de ingeniería química. Laboratorio de operaciones unitarias metalúrgicas, Flotación, p 3-4.

CENGEL, Yunus. y BOLES, Michael. Termodinámica. Carlos Cordero. 5 ed. Mexico.:Universidad De La Salle, 2006. 53 p.

CHONG QUING WANG;"Waste manegement" En:Revista Elsevier ,publicada en 2005.

COLRESIN , S.A.. Ficha Técnica, Lignosulfonato De Calcio. [PFD]. [Citado en 10 de Mayo de 2018].

EDITORIAL ESCONDIDA. Fundamentos flotación. teoría de flotación. Módulo 1. septiembre 2004.p38-42

FLOTACION, En: Universidad de Antioquia [en línea] <<http://jaibana.udea.edu.co/~cim2005/mineralurgia/flotacion.pdf>> [citado el 15 de octubre del 2017]

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajo de grado y otros trabajos de investigación.NTC 1486. Sexta actualización, 1 ed. Bogotá:ICONTEC, 2008. 33 P.

----- . Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613.

1ed. Bogotá: El instituto, 2008.38 p.

----- . Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá: El instituto, 1998.23 p.

J.DRELICH "Selective froth flotation of PVC from PVC/PET Mixtures for the plastics recycling industry"En:revista polymer engineering and science, vol 38, 1998

Modelo De Diseños Factoriales Y Diseños 2^k. [EN LINEA]. [Citado en 28 de Mayo de 2018]. Disponible en internet:

<<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Disenno/tema3DE.pdf>>

Perry, Robert. Manual del ingeniero químico. 7 Ed. [en línea]<<https://es.slideshare.net/PaolaRivera12/flotacion-16977205>> citado el 22 de octubre de 2017]

PVC foro ibérico [en línea]< http://www.cepex.com/wp-content/uploads/dossier_informativo_pvc_reciclaje.pdf>[citado el 20 de octubre de 2017] Vargas Lidia. Flotación. capítulo 8. P 66.

SABIT, "Recovery and reuse of waste PVC coated fabrics part 1 & 2 "En :Journal of coated fabrics ,vol 28 ,1998.

SAMUEL, Kazes Gómez. y JAVIER, De La Cruz. Application Of Heuristic Rules In The Process Synthesis. En: 2008. Noviembre, 2008. p.155-166.

SOMSAK SAISINCHAI "Separation of PVC from PET/PVC mixtures using flotation by calcium lignosulfonate depressant" En: Revista Engineering journal, vol 18,2014.

VASQUEZ, Custodio. Aplicación De Operaciones Del Procesamiento De Minerales A La Recuperación De Pvc Y Pet A Partir De Residuos Plásticos . [EN LINEA]. 2012. [Citado en 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <[HTTP://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066](http://REVISTASINVESTIGACION.UNMSM.EDU.PE/INDEX.PHP/IIGEO/ARTICLE/VIEW/3066)>.

ANEXOS

ANEXO A.
ANÁLISIS DE TAMICES

Tabla 39. Prueba 1
muestra 1 :254,6 g

Malla	Do(mm)	peso(g)	%
4	4.75	193.6	76.96895
5	4	23.6	9.38257862
6	3.35	19.7	7.83206775
8	2.36	13.2	5.24788296
10	2	0.4	0.15902676
12	1.7	0.37	0.14709975
14	1	0.36	0.14312408
Colector		0.3	0.11927007
Total		251.53	100

Grafica 14. Distribución granulométrica prueba 1

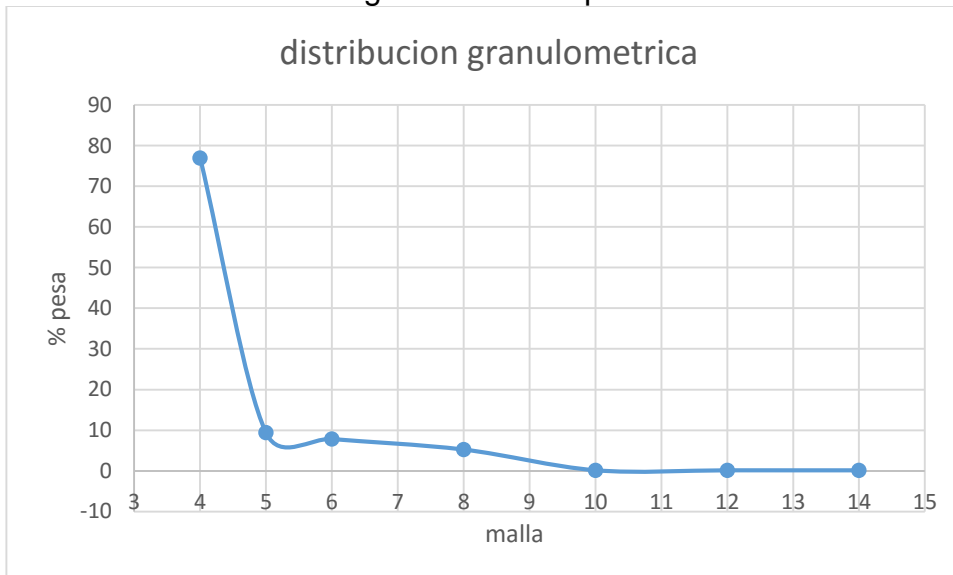


Tabla 40. Prueba 2

muestra 3 :161,7g			
Malla	Do(mm)	peso(g)	%
4	4.75	118.8	73.7430168
5	4	18.2	11.2973309
6	3.35	10.5	6.51769088
8	2.36	9.1	5.64866543
10	2	1.7	1.05524519
12	1.7	0.5	0.31036623
14	1	0.1	0.06207325
Colector		2.2	1.36561142
Total		161.1	100

Gráfica 15. Distribución granulométrica prueba 2

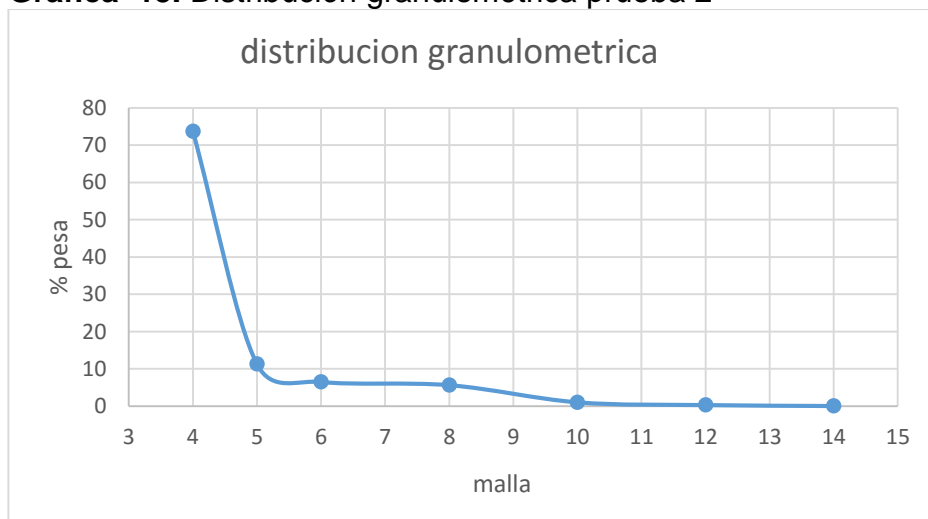


Tabla 41. Prueba 3

muestra 2 :206,4 g			
Malla	Do(mm)	peso(g)	%
4	4.75	163.9	80.6356391
5	4	12.4	6.10056086
6	3.35	10.8	5.31339172
8	2.36	11.9	5.8545705
10	2	2.6	1.27914986
12	1.7	1	0.49198071
14	1	0.36	0.17711306
Colector		0.3	0.14759421

ANEXO B
ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

Tabla 42. Análisis de varianza Nonil Fenol 10 moles

Análisis de varianza				
FV	SC	GL	MC	F
FACTOR A	811.469388	1		42.9601441
FACTOR B	183.22449	1		9.70012005
interacción	2.39909297	1		0.1270108
SCT	1072.64853			
ERROR(SCE)	75.5555556	4	18.8888889	
TOTAL	1072.64853	7		

Tabla 43. Análisis de varianza Tensor MV-P.

Análisis de varianza				
FV	SC	GL	MC	F
FACTOR A	587.755102	1		24.92307692
FACTOR B	878.004535	1		37.23076923
intercaccion	29.0249433	1		1.230769231
SCT	1589.11565			
ERROR(SCE)	94.3310658	4	23.58276644	
TOTAL	1589.11565	7		

Donde

Sc: suma de cuadrados, Sct: suma de cuadrados totales, Sce: suma de cuadrados residuales, Gl: grados de libertad, F: factor de respuesta.

ANEXO C
BALANCES DE MATERIA

NONIL FENOL 10 MOLES

Prueba 1: Tamaño de partícula fino y concentración de 10 mg/L

Figura 4. Balance de materia global prueba 1

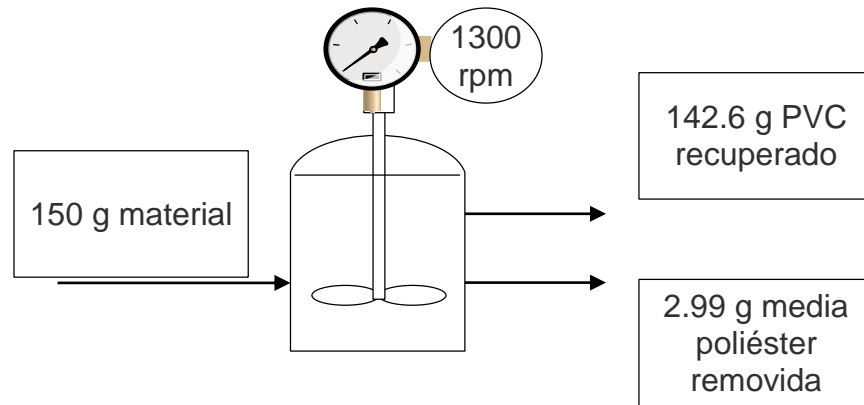


Tabla 44. Resultados prueba 1

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido	%material perdido
142,6	2,99	56,95238095	4,41	2,94

Prueba 2: Tamaño de partícula fino y concentración de 10 mg/L (replica)

Figura 5. Balance global prueba 2

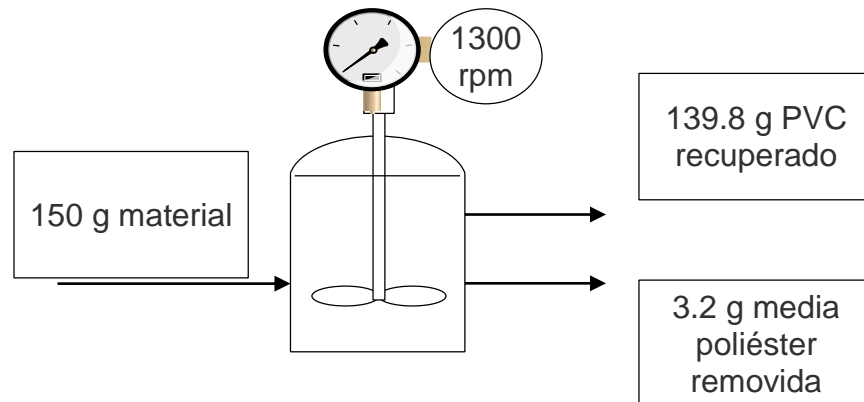


Tabla 45. Resultados prueba 2

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	%material perdido
139,8	3,2	60,95238095	7	4,666666667

Prueba 3: Tamaño de partícula fino y concentración de 28 mg/L

Figura 6. Balance de materia global prueba 3

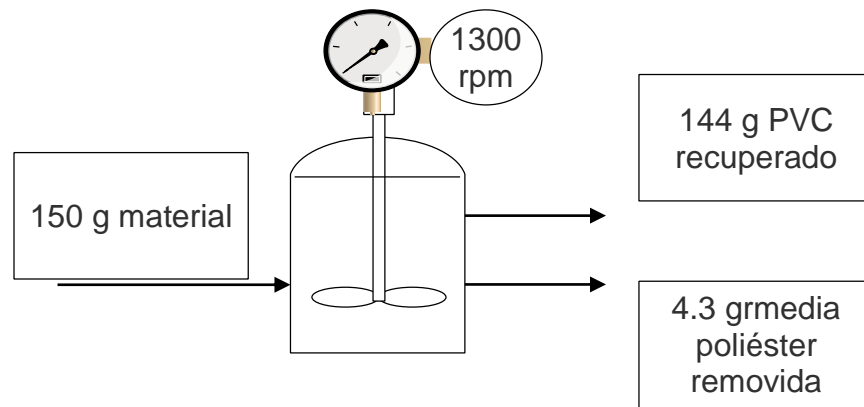


Tabla 46. Tabla de resultados prueba 3

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	%material perdido
144	4,3	81,9047619	1,7	1,133333333

Prueba 4: Tamaño de partícula fino y concentración de 28 mg/L (replica)

Figura 7. Balance de materia global prueba 4

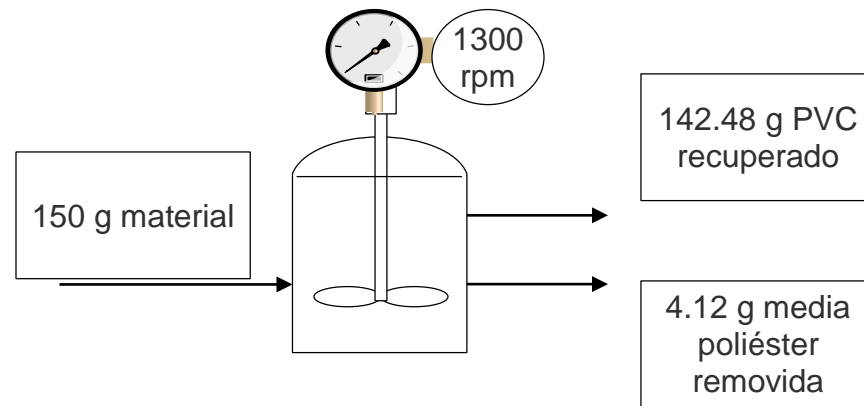


Tabla 47. Resultados prueba 4

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	%material perdido
142,48	4,12	78,47619048	3,4	2,266666667

Prueba 5: Tamaño de partícula grueso y concentración de 10 mg/L

Figura 8. Balance de materia global prueba 5

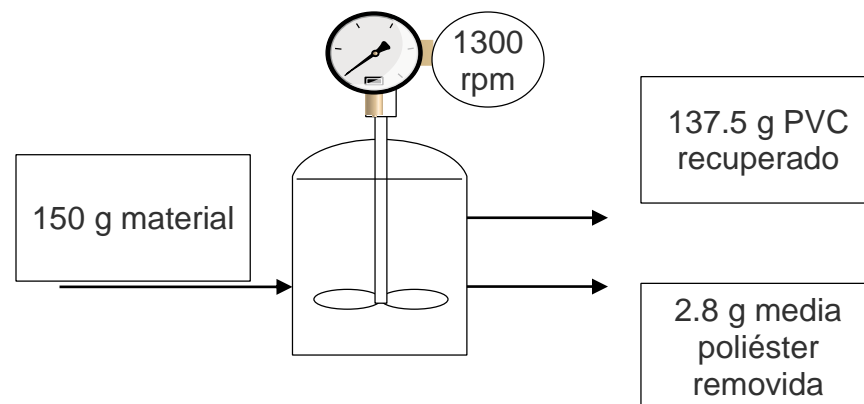


Tabla 48. Resultados prueba 5

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	%material perdido
137,5	2,8	53,33333333	9,7	6,466666667

Prueba 6: Tamaño de partícula grueso y concentración de 10 mg/L (replica)

Figura 9. Balance de materia global prueba 6

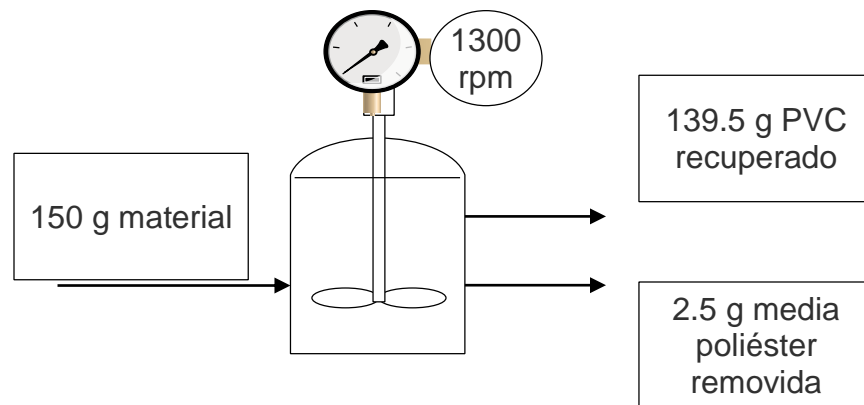


Tabla 49. Resultados prueba 6

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	%material perdido
139,5	2,5	47,61904762	8	5,333333333

Prueba 7: Tamaño de partícula grueso y concentración de 28 mg/L

Figura 10. Balance de materia global prueba 7

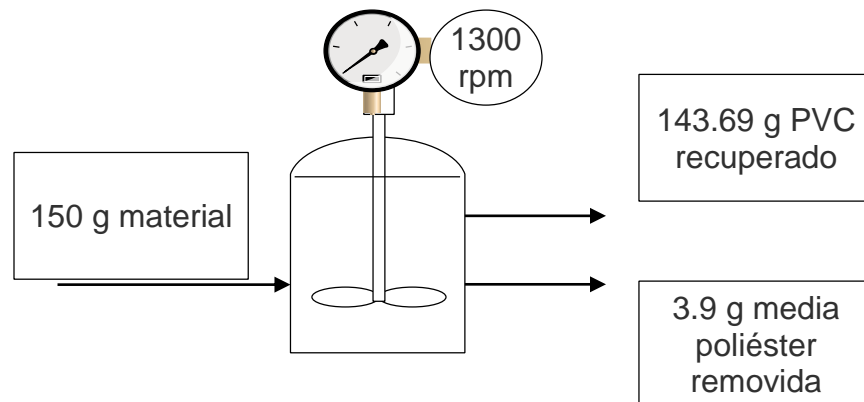


Tabla 50. Resultados prueba 7

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	%material perdido
143,69	3,9	74,28571429	2,41	1,606666667

Prueba 8: Tamaño de partícula grueso y concentración de 28 mg/L (replica)

Figura 11. Balance de materia global prueba 8

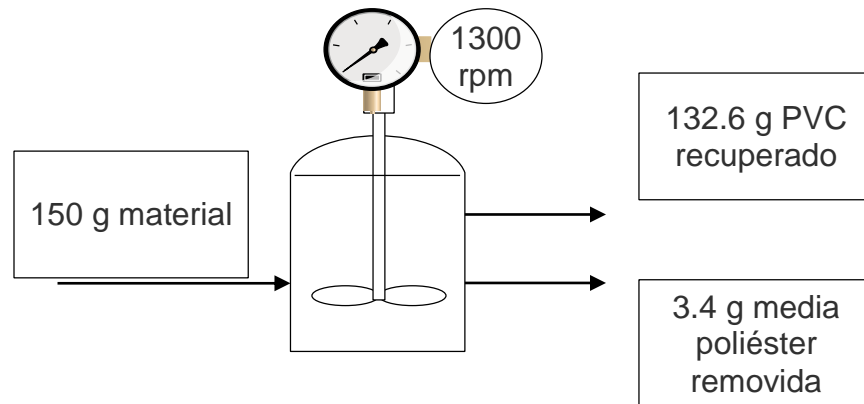


Tabla 51. Resultados prueba 8

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación	material perdido (g)	%material perdido
132,6	3,4	64,76190476	14	9,333333333

TENSAFOR MV-P

Prueba 9: Tamaño de partícula fino y concentración de 3 mg/L

Figura 12. Balance de materia global prueba 9

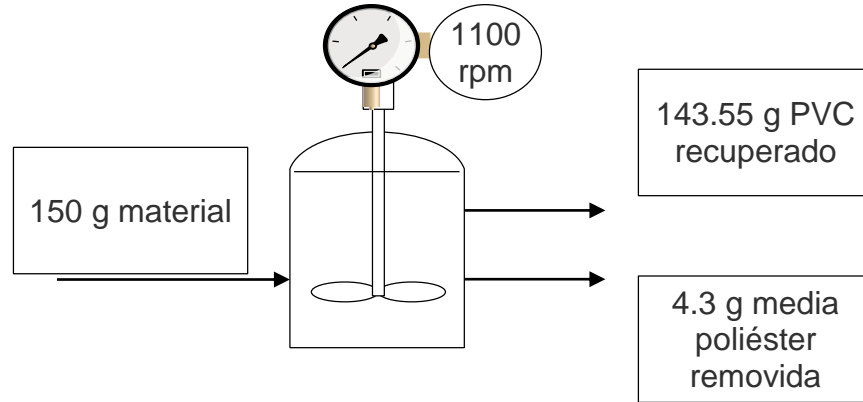


Tabla 52. Resultados prueba 9

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	% material perdido
143,55	4,3	81,9047619	2,15	1,433333333

Prueba 10: Tamaño de partícula fino y concentración de 3 mg/L (replica)

Figura 13. Balance de materia global prueba 10

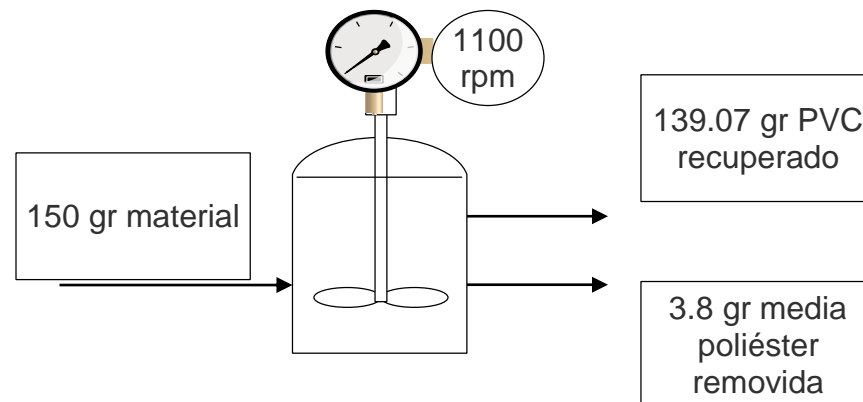


Tabla 53. Resultados prueba 10

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	% material perdido
139,07	3,8	72,38095238	7.13	4.753

Prueba 11: Tamaño de partícula fino y concentración de 10 mg/L

Figura 14. Balance de materia global prueba 11

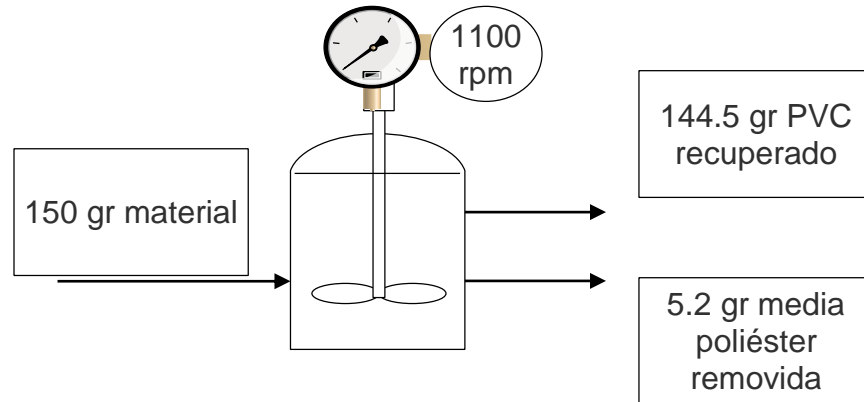


Tabla 54. Resultados prueba 11

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	% material perdido
144,5	5,2	99,04761905	0,3	0,2

Prueba 12: Tamaño de partícula fino y concentración de 10 mg/L (replica)

Figura 15. Balance de materia global prueba 12

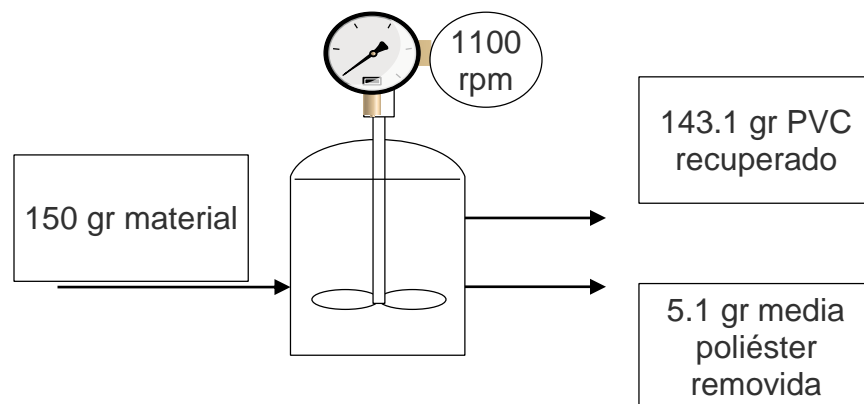


Tabla 55. Resultados prueba 12

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	% material perdido
143,1	5,1	97,14285714	1,8	1,2

Prueba 13: Tamaño de partícula grueso y concentración de 3 mg/L.

Figura 16. Balance de materia global prueba 13

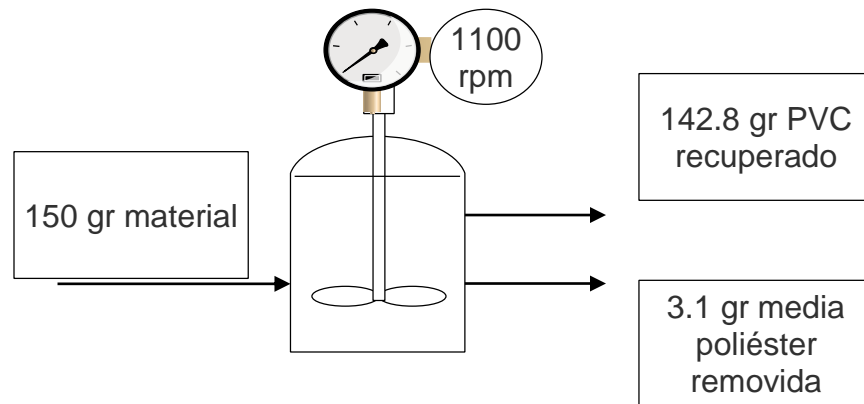


Tabla 56. Resultados pruebas 13

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	% material perdido
142,8	3,1	59,04761905	4.1	2.73

Prueba 14: Tamaño de partícula grueso y concentración de 3 mg/L.(replica).

Figura 17. Balance de materia global prueba 14

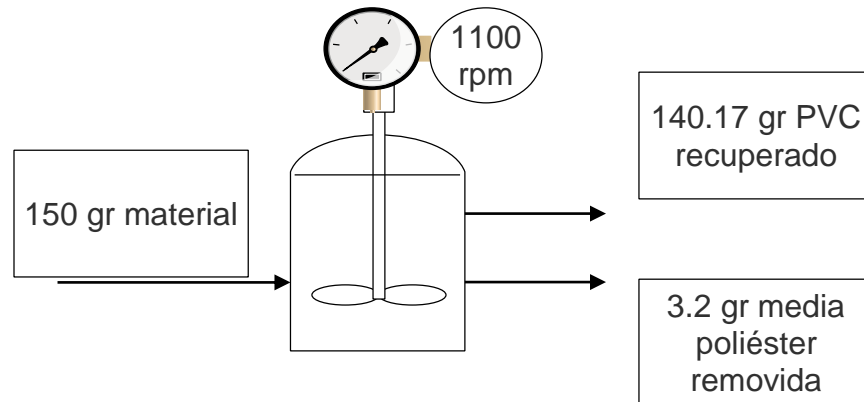


Tabla 57. Resultados prueba 14

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	% material perdido
140,17	3,2	60,95238095	6.63	4.42

Prueba 15: Tamaño de partícula grueso y concentración de 10 mg/L.

Figura 18. Balance de materia global prueba 15

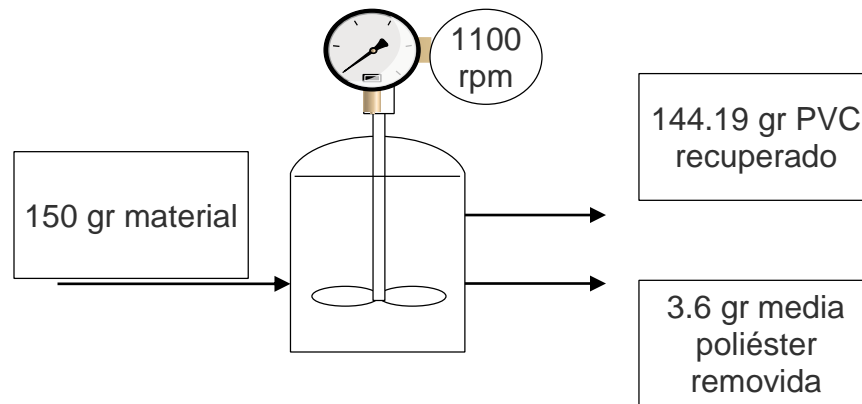


Tabla 58. Resultados prueba 15

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	% material perdido
144,19	3,6	68,57142857	2,21	1,473333333

Prueba 16: Tamaño de partícula grueso y concentración de 10 mg/L.

Figura 19. Balance de materia global prueba 16

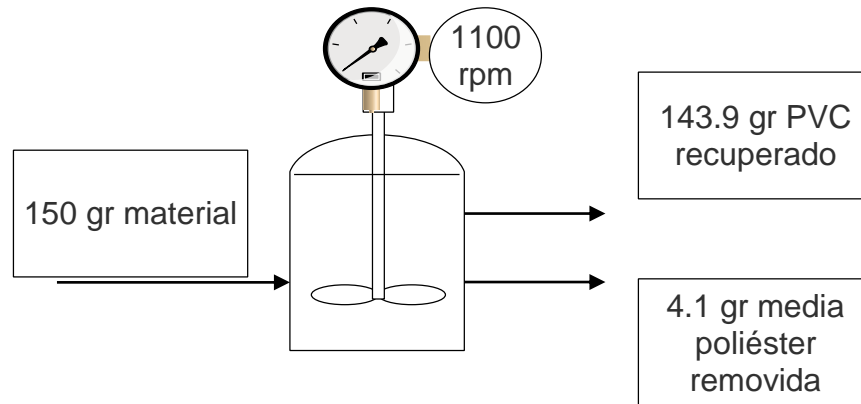


Tabla 59. Resultados prueba 16

peso seco (g)	peso media (g)	% recuperación PVC	material perdido (g)	% material perdido
143,9	4,1	78,0952381	2	1,333333333